



EESTI MAAÜLIKOOL  
Metsandus- ja maaehitusinstituut

Hardi Kaseleht

**HRUŠTŠOVKADE ENERGIAKULU JA  
RENOVEERIMISVÕIMALUSED  
LIGINULLENERGIAHOONETES**

**ENERGY EFFICIENCY OF KHRUSHCHYOVKAS AND  
RENOVATING POSSIBILITIES TO NEARLY ZERO-ENERGY  
BUILDINGS**

Magistritöö  
Maaehituse õppekava

Juhendaja: nooremteadur Martti-Jaan Miljan

Tartu 2019

Eesti Maaülikool  Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Magistritöö lühikokkuvõte	
Autor: Hardi Kaseleht		Õppekava: Maaehitus	
Pealkiri: Hruštšovkade energiakulu ja renoveerimisvõimalused liginullenergiahooneteks			
Lehekülgi:60	Jooniseid:	Tabeleid:	Lisasid:
Osakond / Õppetool:  ETIS-e teadusvaldkond ja CERC S-i kood Juhendaja:		Metsandus- ja maaehitusinstituut / Maaehituse ja veemajanduse õppetool Tehnikateadused , T220;T230 Martti-Jaan Miljan	
Kaitsmiskoht ja aasta:		Tartu 2019	
<p>Hruštšovkad on Eestis vanad ja vajavad põhjalikku renoveerimist. Esimesed liginullenergia SmartEnCity majad on ehitamisel.</p> <p>Käesoleva magistritöö eesmärk on analüüsida erinevaid renoveerimisvõimalusi tüüpprojekti järgi ehitatud telliselamutes.</p> <p>Hruštšovkade korraliku soojustamisega on võimalik saavutada väga head tulemused ning terviklikult renoveerimine on riigi poolt toetatav. Toetuste kasutamise tingimuseks on sisekliima nõuete täitmine. Simulatsioonitarkvara IDA-ICE 4.8 kasutatakse erinevate hooneosade renoveerimise mõju hindamiseks. Teostatakse energiatõhususe arvutused, et saavutada energiatõhususe arv 90 kWh/(m<sup>2</sup>·a).</p> <p>Erinevate hoonete energiaarvutused on üllatuslikult erinevate tulemustega. Palju muutujaid tarkvaras ja erineva tarkvara kasutamine, võivad põhjustada erinevused tulemustes. Sarnaselt soojustatud sama tüüpi hooned peaksid olema sarnaste tulemustega, aga tulemuste erinevused vihjavad vastupidisele.</p> <p>Täpsemalt oleks vaja analüüsida liginullenergia tasemele renoveerimise ehitusmaksumust ning tasuvust.</p>			
Märksõnad: hruštšovka, nZEB, liginullenergia hoone, energiatõhusus			

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Master's Thesis	
Author: Hardi Kaseleht		Specialty: Civil Engineering	
Title: Energy efficiency of khrushchyovkas and renovating possibilities to nearly zero-energy buildings			
Pages:60	Figures:	Tables:	Appendixes:
Department / Chair:		Institute of Forestry and Rural Engineering / Chair of Rural Building and Water Management	
Field of research and (CERC S) code:		Technological Sciences; T220, T230	
Supervisor:		Marti-Jaan Miljan	
Place and date:		Tartu 2019	
<p>Estonian khrushchyovkas are old and in the need of total renovation. First Nearly Zero-Energy (nZEB) Buildings with SmartEnCity project are under the construction.</p> <p>This master's thesis aim is to analyze different methods in achieving nearly Zero-Energy building performance in old brick masonry apartment houses.</p> <p>In khrushchyovka type dwellings it is possible to exceed today's building code with good insulation of the building body. These types of constructions are co-financed by the government on the conditions that the indoor climate condition must be met. Software IDA-ICE 4.8 is used to simulate performances regards of different aspects of a building part renovation. The aim is to achieve primary energy usage of 90 kWh/(m<sup>2</sup> y) or less.</p> <p>Energy performance calculation results with other same type brick apartment houses are remarkably different. Various software and too many variables can be the culprit to cause differences in calculation results. Same type of building with same type of insulation layer should perform similarly, but differences in delivered results suggests otherwise.</p> <p>Construction prize of a total renovation to nearly Zero-Energy Building needs to be thoroughly analyzed.</p>			
Keywords: khrushchyovka, nZEB, nearly zero-energy building, energy efficiency, building performance			

## Sisukord

SISSEJUHATUS .....	6
1 KIRJANDUSE ANALÜÜS .....	8
1.1 Hruštšovkade ajalugu.....	8
1.2 Elamufondi energiakulu.....	10
1.3 Telliskivikorterelamute uuringud.....	11
1.3.1 Tallinna Tehnikaülikooli Eesti eluaseme fondi uuring telliskorterelamutele [7] 11	
1.3.2 Tallinna tehnika kõrgkooli 2016. aasta lõputööga seotud hruštšovka tüüpi elahoone uurimus [8].....	12
1.3.3 Eesti maaülikooli 2017. aasta magistritööga seotud uuring [9].....	13
1.4 Aleksandri 12 hoonele koostatud energiaaudit 2007 a. ....	13
1.4.1 Auditeerimisaegne olukorra kirjeldus .....	13
1.4.2 Kokkuvõte 2007. aasta auditi soovitudest .....	14
1.4.3 Energiatarbimise ülevaade 2004-2006 a.....	15
1.4.4 Termograafeerimine .....	16
1.5 Aleksandri 12 kohta 2017. aastal koostatud energiamärgis.....	17
1.5.1 2017. aasta olukorra kirjeldus.....	17
1.5.2 Energiatarbimise ülevaade 2014-2016 a.....	17
1.6 SmartEnCity projekti raames ehitatavad hooned.....	18
1.6.1 SmartEnCity projekti kirjeldus.....	18
1.6.2 Ehitamisel olevad SmartEnCity projektid .....	20
1.7 Energiatõhususe miimumnõuded liginullenergia hoonete kavandamisel.....	21
1.8 Oluline ja väheoluline rekonstrueerimine .....	23
1.9 SA KredEx uus ja eelmine määrus .....	24
1.9.1 Toetuse andmise määruse muutus .....	24
1.9.2 Ruumiõhust sõltuvate gaasiseadmete eemaldamise nõue .....	25
2 ALEKSANDRI 12 HOONE RENOVEERIMINE.....	26
2.1 Renoveerimiseelne olukord .....	26
2.2 Köetav pind.....	27
2.3 Välispiirded.....	28
2.4 Küttekulude leidmine kasutades IDA-ICE 4.8 tarkvara .....	31
2.4.1 IDA ICE 4.8 tarkvara.....	31

2.5	Ventilatsioon.....	34
2.6	Infiltratsioon.....	36
2.7	Tehnosüsteemid .....	36
2.8	Soojussõlm.....	36
2.9	Muutumatud ETA komponendid .....	37
2.9.1	Elektritarbimine .....	37
2.9.2	Tarbevee soojendamine .....	38
2.10	Päikeseenergia kasutamine elektrienergia tootmiseks .....	38
2.11	Simulatsioonid.....	40
2.11.1	Simulatsioon vastavalt energiaauditi soovitustele .....	40
2.11.2	Simulatsioon vastavalt KredEx minimaalsetele tingimustele .....	42
2.11.3	Keldrilae soojustamise simulatsioon .....	43
2.11.4	Liginullenergia simulatsioon .....	46
2.11.5	Simulatsioon vastavalt SmartEnCity nõuetele .....	47
2.11.6	Energiatõhususe arvutamise tulemused.....	49
KOKKUVÕTE .....		52
Kasutatud kirjandus .....		55
Lisa 1. Väljavõte simulatsiooni tulemustest .....		58
Lisa 2. SmartEnCity ehitamisel olevate hoonete energiatõhususe näitajad .....		59
Lisa 3. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta .....		60

## SISSEJUHATUS

1950-ndatel aastatel oli elamispindade süvenenud puuduse tõttu vaja tõsta oluliselt ehitiste püstitamise tempot. Toretseva Stalinistliku arhitektuuri jooned oli vaja kõrvale heita, et Nõukogude Sotsialistlike Vabariikide Liit saaks progressiivselt edasi areneda. Saabus tüüpprojektide ajastu, kus põhirõhk oli hoonete püstitamise kiirusel jättes ehitiste energiatõhususe ja kvaliteedi tahaplaanile.

Nüüdseks on nende majade ehitamisest mööda läinud aastakümneid ja hooned on nii moraalselt kui ka füüsiliselt vananenud. Riikliku tähelepanu alla on võetud nende hoonete renoveerimise toetamine, sest korteriühistutele käib põhjaliku renoveerimise omavahenditest finantseerimine üle jõu. Samas on energia hind pidevas tõusutendentsis ja vanades eluhoonetes elamine on muutumas järjest rohkem kulukamaks.

Eestis nimetatakse hruštšovkadeks ühte konkreetset tüüpprojekti - seeria 1-317 hooneid. Seda tüüpi ehitist püstitati suuremalt jaolt linnadesse ja peamiselt just kesklinna piirkonda, kuna hoonestus oli seal sõjajärgselt hävinenud.

Kahjuks hakkas Eestis 1990-ndatel ja 2000-ndate aastate algul soojustamisel levima palju ebapraktilisust. Näiteks ei pööratud ventilatsioonile erilist tähelepanu. Seadusandlus on selles osas nüüdseks järgi jõudnud ning 2007. aastal võeti vastu energiatõhususe miinimumnõuded, mille järgi hakati läbi viima kontrolli ehitustegevuse dokumentatsiooni nõuetele vastavusele juba ehitusloa taotlemisel.

Energiatõhususe miinimumnõuete järgi on olulisel rekonstrueerimisel vaja saavutada primaarenergia tarbimine ühe ruutmeetri kohta hoone standardkasutusel väiksem kui 150 kWh/m<sup>2</sup>a.

Käeolevas magistritöös keskendutaksegi ühele konkreetsele hoonele, mida soovitakse renoveerida liginullenergiahooneks kasutades kõikvõimalikke toetuseid.

Magistritöö esimeses peatükis on ülevaade saadaolevast uuritavat hoonet puudutavast kirjandusest ning energiatõhususe arvutamise metoodikast. Töötati läbi varasemad uuringud, mis on selle konkreetse hoone kohta teostatud. Antakse ülevaade SmartEnCity programmist

ning selle raames sarnaste kavandatud hoonete energiatõhususarvutustest. Tutvustatakse liginullenergia nõudeid korterelamute mõistes. Eristatakse olulist ja väheolulist rekonstrueerimist ning täpsustatakse magistritöö kirjutamise ajal muutunud määruste muudatusi ning nende mõju energiatõhususe planeerimisel.

Teises peatükis on kirjeldatud hoone renoveerimiseelset olukorda. Uuritakse välispiirdeid põhjalikumalt. Kirjeldatakse simulatsiooni tarkvaraga baasmudeli koostamist ning selle järgi olemasoleva olukorra simuleerimist. Kirjeldatakse põhjalikult energiatõhususe arvutamise metoodikat koos tulemustega ning võrreldakse simulatsioonide tulemusi teiste sarnaste töödega.

Energiaaudiitorid soovivad tihti esimese korruse põranda temperatuuri tõstmiseks keldrilagesid soojustada. Simulatsioonimudelit saab kasutada sellise ehitustöö tulemuslikkust kontrollimiseks.

Magistritöö peamine eesmärk on teha selgeks energiatõhususe arvutamise põhitõed ning kontrollida paari hüpoteesi, millega autor on aastate jooksul kokku puutunud. Üks hüpotees on see, et keldrilae soojustamine tõstab oluliselt esimese korruse põranda minimaalset pinnatemperatuuri ja annab elanikule suurema mugavustunde. Teiseks püstitatud hüpoteesiks on, et korterelamu mitteköetava keldri kasutusele võtmine köetava pinnana parandab energiamärgist.

Projekteerimine on aeganõudev protsess ja sageli võib see venida sama pikale perioodile, kui ehitaminegi. Vaja on kaasata erineva eriala spetsialiste ja olulise rekonstrueerimise juures on vaja kaasata ka energiatõhususspetsialist, kes kontrollib hoone ehitusprojekti energiatõhususe miinimumnõuetele vastavust ning esitab projektipõhise energiamärgise.

Käesolevas magistritöös kasutatakse automaatse viitamise stiili IEEE 2006.

Autor tänab Mikk Maiveli, kes juhendas ja andis nõu simulatsiooni tarkvara kasutamisel. Autor on tänulik juhendajale, Martti-Jaan Miljanile lõputöö teema väljapakkumise ja simulatsiooni tarkvara kasutamise juhendamise eest.

# 1 KIRJANDUSE ANALÜÜS

## 1.1 Hruštšovkade ajalugu

Eesti annekteeriti Nõukogude Sotsialistlike Vabariikide Liidu poolt 21. juuli 1940. aastal. Peale Teist Maailmasõda jäi Eesti Vabariik Nõukogude Liidu võimu alla. Nõukogude Liidu ja Saksamaa vahelise sõja järgselt oli hävinud Eesti Vabariigi pindadel kokku 1,7 miljonit ruutmeetrit elamupindasid [1].

1954. a. lõpul toimus Moskvas üleliiduline ehitajate, arhitektide ja ehitusmaterjalide tootjate nõupidamine, mille tulemusena avaldati 1955. aastal partei määrus „Liialduste likvideerimisest projekteerimise alal ja ehitustegevuses“. Sellega tunnistati kogu senine arhitektuur valeks ja minevikku vaatava esteetilise ehituskunsti asemele pidi asuma uus, industriaalne [2].

Seejärel võeti kasutusele industriaalsed ehitusviisid. Esialgu hakati ehitama raudbetoonist kergesti ja kiirelt monteeritavaid ehitise osasid, nagu vahelaed ja trepid koos mademetega. Raudbetoonist vahelagede kasutusele võtmine võimaldas suuremate kandeavadega elamutüüpide levikut. Ratsionaalsematele plaani- ja konstruktiivsete lahenduste tõttu oli taoline ehitus oluliselt ökonoomsem [1].

Kui 1957. aastal Moskvas kavandatud väikesemetraažiliste korteritega sektsioonide tüüpseeriat nr.1 Estonprojektis töödeldi, saadi kohalik elamuseeria *m1-317* ehk nn. hruštšovka. Viimane nimetus tuleb võimul oleva Nikita Hruštšovi järgi [2].





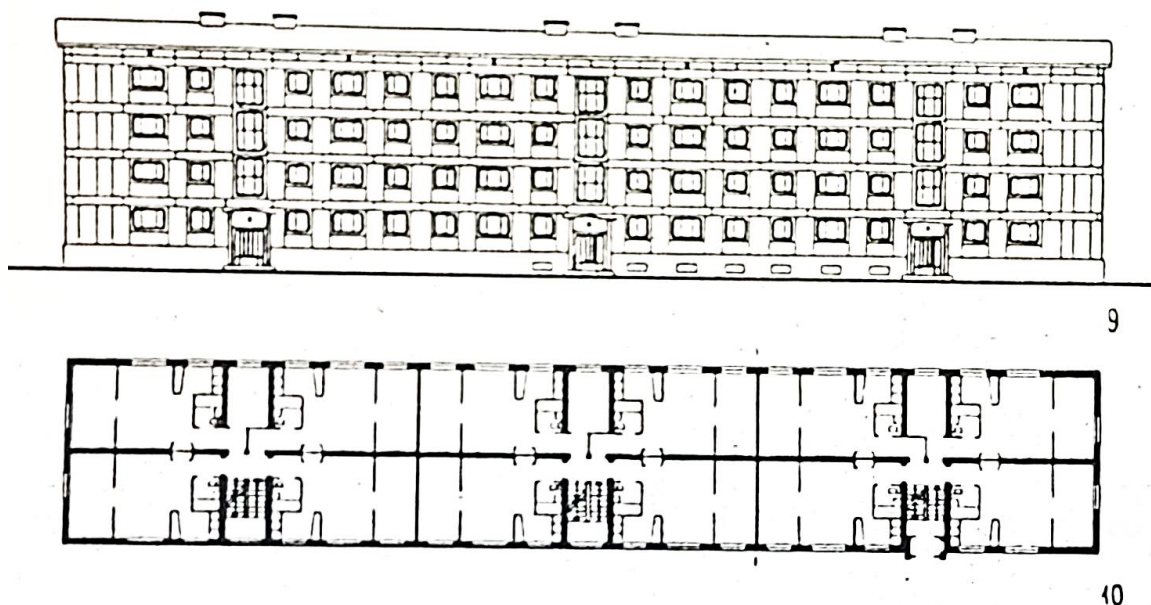
**Joonis 1.** Elamugrupp Turu tänava ääres [1]

Üle Eesti on ehitatud üsna isesuguseid 1-317 seeria maju, sest 1959-1964. aastatel oli see ainuvalitsev korterimaja tüüpseeria. Üks ilmekamaid näiteid on Tartu Turu tänava hoonestus (Joonis 1). Esiteks on siin tänava suhtes veidi viltu asetatud nurgeti kokku liidetud madalam ja kõrgem maja, teiseks ilmestab otsaseina oranž tellis ja kolmandaks on suurem maja ärklitega (1-317A), mis annab üsna vahelduvrikka tulemuse [2].

Turu, Aida ja Kalevi tänava rajooni hoonestusprojektide autor oli arhitekt Maimu Palm ([3]. Käesolevas lõputöös uuritud Aleksandri 12 hoone jääb samasse hoonestusalasse.

1-317 seeriat töötati ümber ka silikaltsiit-suurplokkehitiste püstitamiseks [1]. Silikaltsiidi leiutas Eesti teadlane Johannes Hint ja tänu selle materjali leiutamisele, sai ta ka kõrgeima, Lenini preemia [4].

Plaanilahenduselt on jutuks oleva seeria projektides trepikoja ümber grupeeritud ühel korrusel põhiliselt neli korterit. Eelmiste projektidega võrreldes on märgatavalt vähendatud korterite abiruumide pindu. Tsentraalseks ruumiks on elutuba, mille kaudu pääseb nii kööki kui ka magamistubadesse (Joonis 2) [1].



**Joonis 2.** Seeria 1-317 vaade ja plaan [1]

## 1.2 Elamufondi energiakulu

Eesti juhindub energiasäästu poliitikas peamiselt 2012. aastal vastu võetud Euroopa Liidu (edaspidi EL) energiatõhususe direktiivist. EL direktiivi kohaselt peab 2020. aastaks üleliiduline primaarenergia tarbimine vähenema 20% võrra. Protsendile numbrilise väärtuse andmiseks on vaja esmalt defineerida mõiste naftaekvivalent ehk 1 toe, mille puhul on energia võrdväärne ühe tonni nafta põletamisest saadava energiaga. Teisendades on 1 toe 11630 MWh. 1 ktoe (kilotoe) võrdub tuhat toe-d ja 1 Mtoe (megatoe) võrdub miljon toed. Seega aastaks 2020 peab primaarenergia tarbimine EL-is vähenema 1842 Mtoe-lt 1474 Mtoe-ni [5].

Eurostati (inglise keeles *Statistical Office of the European Union*) 2015. aastal väljastatud uuringu kohaselt oli terve Euroopa Liit juba 2014. aastal 1504 Mtoe juures, mis näitab erinevate liikmesriikide energiatõhususe eesmärkide saavutamise potentsiaali. Eesti eesmärgiks on aastaks 2020 hoida energia lõpptarbimist 2010. aasta tasemel ehk 2818 ktoed [5].

Eestis moodustab kodumajapidamiste energiatarve 40...45% kogu energia bilansist. Elamufondi rekonstrueerimisega on võimalik vähendada hoonete kütteenergia vajadust kuni 50% ja saavutada sellega muuhulgas imporditavate fossiilkütuste mahu ja CO<sub>2</sub> heitkoguse

vähenedamine. Ühtlasi on võimalik samal ajal parandada elukeskkonna kvaliteeti ning vähendada eluasemefondi ülalpidamiskulusid, millel on otsene mõju inimeste toimetulekule. [6].

Seoses suure Üleliidulise energiasäästu poliitikaga, on Eestis võetud suure tähelepanu alla eluasemefondi energiasõltuvus. Strateegiliselt on muudetud seaduseid ja määruseid. Kõik on selleks, et ehitamine oleks kuluefektiivsem ning pikkadeks aastateks püstitatud hooned oleksid ja jääksid energiasäästlikuks. Üldteada põhimõte on, et lisainvesteering hoone energiatõhusamalt ehitamiseks peab ennast ära tasuma.

Viimasel aastakümnel räägitakse üha rohkem ja rohkem hoonete energiasäästlikkusest ja sisekliimast. Alates Eesti taasiseseisvumisest 1991. aastal on majandus 10 aastaste tsüklitega olnud nii tõusu- kui langustendentsis. Eesti eluasemefond koosneb väga suures osas 1959 – 1985 a. vahemikus massiliselt püstitatud tüüpprojektide järgi ehitatud korterelamutest. Mõned arhitektuuriajaloo uurijad väidavad, et osa hooned oli püstitatud ainult 25. aastaks [2]. Samas on sellist tüüpi hooned püsinud siiani kindlalt paigal. Linnades ehitatakse üha uuemaid ja uuemaid tänapäevastele nõuetele vastavaid hooned. Samas vanad hooned, mis 1960. aastatel linna keskuste läheduses pommitamise tõttu lagedatele aladele said ehitatud, on amortiseerunud ja vajaksid kaasajastamist.

## **1.3 Telliskivikorterelamute uuringud**

### **1.3.1 Tallinna Tehnikaülikooli Eesti eluaseme fondi uuring telliskorterelamutele [7]**

Suurem uuring pealkirjaga „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline seisukord ning prognoositav eluiga“, on läbi viidud Tallinna Tehnikaülikooli Ehitusteaduskonna poolt ning selle uuringu lõppraporti on toimetanud Targo Kalamees. Trükisena on uuring kättesaadav alates 2010. aastast. Uuringu tellis ja finantseeris Krediidi ja Ekspordi Garanteerimise Sihtasutus KredEx. Uuringus osalenud hoonetest oli 8 korterelamut seeriast 1-317 ehk nn „hruštšovkat“.

Uuringust saab hea ülevaate erinevate välisseina tüüpide, kandekonstruktsioonide võimalike defektide ja peamiste külmasildade asukohtade kohta. Põhjalikult antakse ülevaade tehnosüsteemide seisukorra kohta ning esitatakse soovitusi nende renoveerimise osas.

Telliskorterelamute akende silluse ning katuse liitumiskoha juures on kõige suuremad külmasillad. Mõõdetud korterite keskmine õhulekkearv  $q_{50} = 4,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .

Mineraalvillaga ja vahtpolüstüreeniga lisasoojustatud katseseina võrdlusuuringus oli niiskustehniline erinevus kahe seinatüübi vahel väike.

Uuringus käsitleti ka hoonete energiatõhusust ning anti soovitused 1-317 ja 1-318 tüüpi elamute energiatõhususe parandamiseks (Joonis 3).

Energiatõhususpakett C (ETA 121-150 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ )	ETA=127 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$	ETA=150 $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Korteripõhine soojustagastusega sissepuhke-väljatõmbe ventilatsioonisüsteem (soojustagasti temperatuuri suhtarv <math>\geq 0,8</math>).</li> <li>Välisseina lisasoojustus <math>U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> (<math>\approx +20 \text{ cm}</math>).</li> <li>Katuse lisasoojustus <math>U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> (<math>\approx +40 \text{ cm}</math>).</li> <li>Kõikide akende vahetus, uus asukoht, <math>U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>.</li> <li>Õhupidavuse parandamine: <math>q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)</math>.</li> <li>Päikesepaneelid sooja tarbevee tootmiseks.</li> <li>Soojussõlme sobitamine päikesepaneelide lahendusele.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hoonepõhine mehaaniline väljatõmbe ventilatsioon, väljatõmbeõhu soojuspump (<math>\text{COP} \geq 4,0</math>).</li> <li>Olemasoleva küttesüsteemi renoveerimine (uued, värske õhu radiaatorid).</li> <li>Välisseina lisasoojustus <math>U=0,17 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> (<math>\approx +20 \text{ cm}</math>).</li> <li>Katuse lisasoojustus <math>U=0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math> (<math>\approx +40 \text{ cm}</math>).</li> <li>Kõikide akende vahetus, uus asukoht, <math>U=1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})</math>.</li> <li>Õhupidavuse parandamine: <math>q_{50}=1,5 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)</math>.</li> <li>Soojussõlme sobitamine soojuspumba lahendusele.</li> </ul>

**Joonis 3.** 4-korruseline 2 trepikojaga elamu energiatõhususpakett klass "C" [7]

Uuringu peamine tulemus oli, et hoone energiatõhususe parandamisel annab suurimat säästu n-ö. terviklahendus, kus lähenetakse hoonele komplekselt ja renoveeritakse nii hoone tarindid (katus, välisseinad) kui ka hoone tehnosüsteemid (kütte ja ventilatsioonisüsteem).

### 1.3.2 Tallinna tehnika kõrgkooli 2016. aasta lõputööga seotud hruštšovka tüüpi eluhoone uurimus [8]

Lõputöös „Hruštšovka renoveerimise võimalused SmartEnCity projekti raames“ uuriti Tartus Tiigi 13 kortermaja tehnilist seisukorda, arvutati kaalutud energiaerikasutus (KEK) olemasolevale olukorrale ning arvutati simuleerimismudelit kasutades energiatõhususarv (ETA). Töö tulemusel tekkis esialgne projekteerimise lähteülesanne. Eeldatava ehitismaksumuse kaudu tehti ka kerge lihttasuvuse analüüs.

### **1.3.3 Eesti maaülikooli 2017. aasta magistritööga seotud uuring [9]**

Õhupidavust ja ehitustehnilist seisukorda erinevates hruštšovkades uuris Eesti Maaülikooli tudeng oma magistritöös. Käesolevas magistritöös uuritav objekt, aadressil Aleksandri 12, oli 2017. aasta magistritöö uuringualuste objektide valimis.

Uuringus viidi läbi elanike küsitlus, valikuline termografeerimine, sisekliima mõõtmine, visuaalne vaatlus ja korterite valimi õhupidavuse mõõtmine. Hoone piirete õhupidavuse hindamiseks mõõdeti uuritud korterite õhupidavust alarõhu- ja ülerõhu testiga. Korterite keskmine õhulekkearv oli  $4,6 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  ja keskmine õhuvahetuskordsus  $50 \text{ Pa}$  juures  $7,01 \text{ h}^{-1}$ . Õhulekkearvud jäid vahemikku  $1,57 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$  kuni  $11,45 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .

Uuring andis ülevaate korterite õhupidavuse kohta, aga kahjuks ei selgunud, kuidas suleti korterite köögipõranda alla 5 värskeõhuava, mis sageli on uue põrandakatte alla jäänud ning sisuliselt ligipääsematud. Lisaks ei anna uuringu tulemus väga head ülevaadet välispiirete õhulekkearvu kohta, sest korterite omavahelised lekked läbi vahelagede võivad olla päris suured. Tulevikus, kui uuritud korterelamud on renoveeritud, tuleks sama valim uuesti üle mõõta ning tulemusi omavahel võrrelda.

## **1.4 Aleksandri 12 hoonele koostatud energiaaudit 2007 a.**

### **1.4.1 Auditeerimisaegne olukorra kirjeldus**

2007. aasta detsembris koostas Energiasäästubüroo OÜ Aleksandri 12 hoone kohta energიაaudit. Energeetiline auditeerimine hõlmas korterelamu piirdetarindeid ja tehnosüsteeme. Ülevaatus viidi läbi visuaalselt, tuginedes olemasolevale dokumentatsioonile ja joonistele ning valdaja küsitlustest saadud andmetele [10].

Auditeerimise käigus teostati ka termoülevaatus nr. 464/12.2007 ning esitati raport. Termoülevaatus eesmärgiks oli leida soojuslekked välispiiretes ning anda hinnang seina soojuslähivusele.

Energiaauditis on toodud soovitusel korterelamu energiatõhususe parandamiseks ning järgnevas punktis on toodud kokkuvõte auditi soovitustest.

Peale hoone ehitamist 1963. aastal, oli hoone soojapidavust osaliselt parendatud. Korterimanikud olid aknaid kaasaegsemate vastu välja vahetanud. Auditeerimise hetkel oli märgitud, et 58% korterite originaalakendest on PVC raamidega pakettakende vastu vahetatud. Audiitor hindas vahetatud akende U-arvuks  $1,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ . PVC pakettakende vastu olid vahetatud ka trepikodade aknad. Ehitusaegsed trepikodade ja keldri välisused olid vahetatud metallpakettuste vastu.

Seinad, vundament, sokkel, katus ja pööningu vahelagi oli ehitusaegses olukorras. Katusekate oli eterniidist ja üldiselt heas seisus.

Küttesüsteem oli auditeerimise ajal altjaotusega ehitusaegne ühetorusüsteem ilma soojusvahetita. Korterites oli malmradiaatorid osaliselt vahetatud terasplekk radiaatorite vastu.

Konstruktiivseid parandusi on tehtud välisvoodri võlvsilluste juures, kus kõik silikaattellistest külgsainte võlvsillused on toetatud metallist nurkraudadega. Otsaseinades olevad savitellistest võlvsillused on jäänud toestamata.

Sooja tarbevett tehakse gaasiveesoojendajate ja elektriboileritega. Energiaauditis korterite elektrienergia tarbimist ei käsitletud. Välja oli toodud ainult korterelamu üldelekter, mis oli aastatel 2004–2006 keskmiselt 2410 kWh/a.

Energiaauditis on jäetud käsitlemata gaasi tarbimise osa. Ilmselt sellepärast, et selles osas ei ole energiasäästu potentsiaali. Hoones on gaasipaigaldised ning gaasi kasutatakse söögi valmistamisel ning korterites lokaalselt sooja tarbevee tootmiseks.

#### **1.4.2 Kokkuvõte 2007. aasta auditi soovitustest**

Vundamendile ja soklile oli audiitor soovitanud paigaldada 200 mm paksune soojustuskiht ning vundamendi osa eelnevalt hüdroisolatsioonikihiga katta. Hoone fassaadile soovitati paigaldada 200 mm paksune krohvitav soojustuskiht, akende põskedele 10 mm tuuletõkkeplaat ning see krohvida. Pööningut tuleks audiitori meelest soojustada 150 mm paksuse märgmeetodil paigaldatud tselluvillast lisasoojustuskihiga.

Korteritele, kus ehitusjärgsed aknad olid vahetatud PVC raamidega akende vastu (58 % kogu majast), soovitas audiitor ruumide regulaarset tuulutamist ning talvel akende hoidmist

mikrotuulutuse asendis. Ülejäänud 42% korteri amortiseerinud akende vahetamisel on antud soovitus olemasolevad renoveerida või vahetada säästupakettakende vastu. Koos akende vahetusega tuleks paigaldada kõikidesse korteritesse värskeõhuavad. Samuti soovitatakse vahetada kõik keldriaknad, sealjuures aknaava väiksemaks, kuni 200 mm kõrgusteks laduda. Pööninguluugid tuleks tihendada ja katta pealt 100 mm soojustusega. Trepikoja aknad ja ukSED on varasemalt vahetatud ning nendega tegelema ei pea.

Audiitor soovitas tervele küttesüsteemile tellida tasakaalustamise ja renoveerimise projekt.

Ventilatsioonile soovitas audiitor ventilatsioonikorstnate regulaarset puhastust. Tehnilistes ruumides (soojussõlm, kilbiruum) võidakse vajadusel kasutada niiskusanduriga väljatõmbeventilaatoreid (sügisperiood).

Energiaaudit oli sõnastatud üsna umbmääraselt ning teatud soovitused ei vasta teistes kirjandustes soovitatule. Näiteks soovitab audiitor suvekuudel keldrit läbi tuulutada. Tiit Masso räägib oma „Ehitusfüüsika ABC“ raamatus [11] just vastupidist - suvekuudel tuleks keldrisse võimalikult vähe sooja niisket õhku lasta ja pigem talvel regulaarselt tuulutada. Tänapäevaste teadmiste juures oleks vaja pööningule paigaldada rohkem soojustust, kui audit seda ette näeb.

### 1.4.3 Energiatarbimise ülevaade 2004-2006 a.

Auditis oli kraadpäevadega korrigeeritud kolme aasta keskmine soojustarbimine kütteks saadud 434,39 MWh/a. Energiaauditis oli koostatavaks pinnaks märgitud 3174,3 m<sup>2</sup>. Energiaauditis toodud soojusenergia, üdelektri ja terve hoone tarbevee kulu on toodud tabelis (Tabel 1).

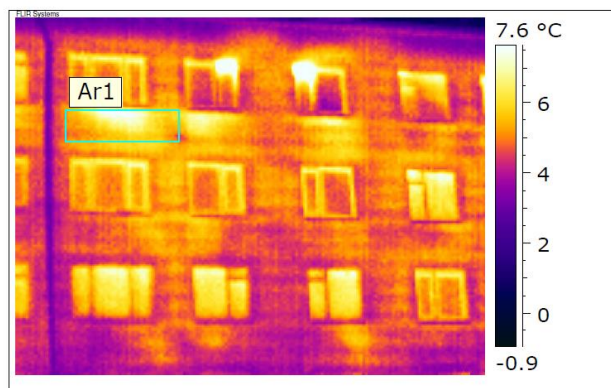
**Tabel 1.** 2004-2016 tarbitud energia

Aasta	Soojusenergia (MWh)	Elekter (kWh) üdelekter	Veekulu kokku (m <sup>3</sup> )
2004	381	2060	3392
2005	422	2250	3037
2006	394	2920	2869



#### 1.4.4 Termograaferimine

Auditiga koos oli läbi viidud ka termograafiline uuring, kus oli mitme foto juures välja toodud, et soojustus on ära vajunud (Joonis 4) [10].



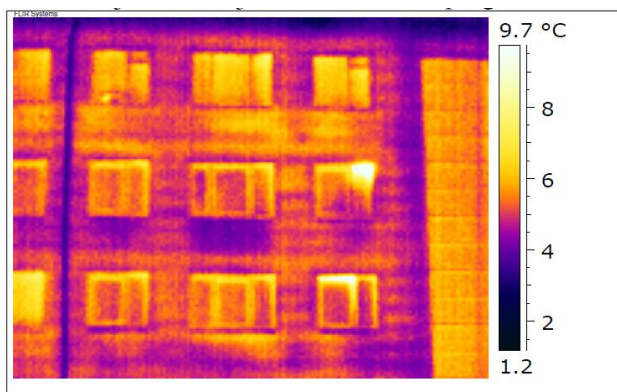
Tähis	Temp.
Ar1: Max	8.0 °C
Ar1: Min	4.4 °C

Soojustuse äravajumise koht.



**Joonis 4.** Väljavõte termograafilisest uuringust [10]

Konstruksioonide lähemal termograafilisel uurimisel võib kogemuslikult ära põhjendada, miks aknaalused osad on heledamad. Akende alune sein on ainult 30 cm paks ja vahetult selle taga asub nišši sees küttekeha (Joonis 7). Mõni korteriomanik on soojustanud radiaatori tagust seina. See tuli välja autori objekti külastusel ning sama korter oli üles pildistatud ka termograafilises uuringus (Joonis 5). Erinevad uuringud on tõestanud, et seestpoolt soojustatud seinades on niiskus ja see on väga soodne hallituseente kasvamiseks [7].



**Joonis 5.** Seestpoolt soojustatud radiaatori tagune [10]



## 1.5 Aleksandri 12 kohta 2017. aastal koostatud energiamärgis

### 1.5.1 2017. aasta olukorra kirjeldus

Peale 2007. aastal teostatud energiaauditit oli tehtud täielik küttesüsteemi asendamine kahetorusüsteemi vastu. Hoone elanikud küttesüsteemi toimivuse üle enam ei kurtnud. 2017. aastal oli ligi 85% akendest vahetatud PVC raamidega pakettakende vastu [9].

Võrreldes kümme aastat varem läbi viidud energiaauditi andmetega on 3 aasta keskmine kütteenergia tarbimine vähenenud ligi 4%. Aastal 2007 oli kraadpäevadega korrigeeritud kütteenergia tarbimine 434,4 MWh ning 2017. aastal korrigeeritud kütteenergia tarbimine 417,3 MWh.

Üldine hoone tehniline seisukord on sama, mis on toodud peatükis 1.4.1.

### 1.5.2 Energiatarbimise ülevaade 2014-2016 a.

Energiamärgise arvutamise algandmed on avalikult kätte saadavad ehitusregistris. Väljastatud energiamärgise arvutamiseks on kasutatud 2014, 2015 ja 2016. aasta tarbitud soojusenergia, elektri ja gaasi näitusid (Tabel 2).

**Tabel 2.** Ülevaade 2014-2016 energiatarbimisele [12]

Aasta	Soojusenergia [MWh]	Elekter [kWh] sh. korterid	Gaas [m <sup>3</sup> ]
2014	385,2	84782	6869
2015	335,4	85169	6720
2016	387,4	83487	6730

Käesolevas lõputöös kasutati energiamärgise lähteandmeid esialgse simulatsioonimudeli koostamiseks.

Korterelamute energiaauditite koostamise juhendi järgi on ainult gaasipliitide ja tarbeveesoojendeid kasutavas hoones tarbegaasi erikulu  $3 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  ehk ligi  $28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  [13]. Aleksandri 12 hoones on gaasi eritarbimine keskmiselt  $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

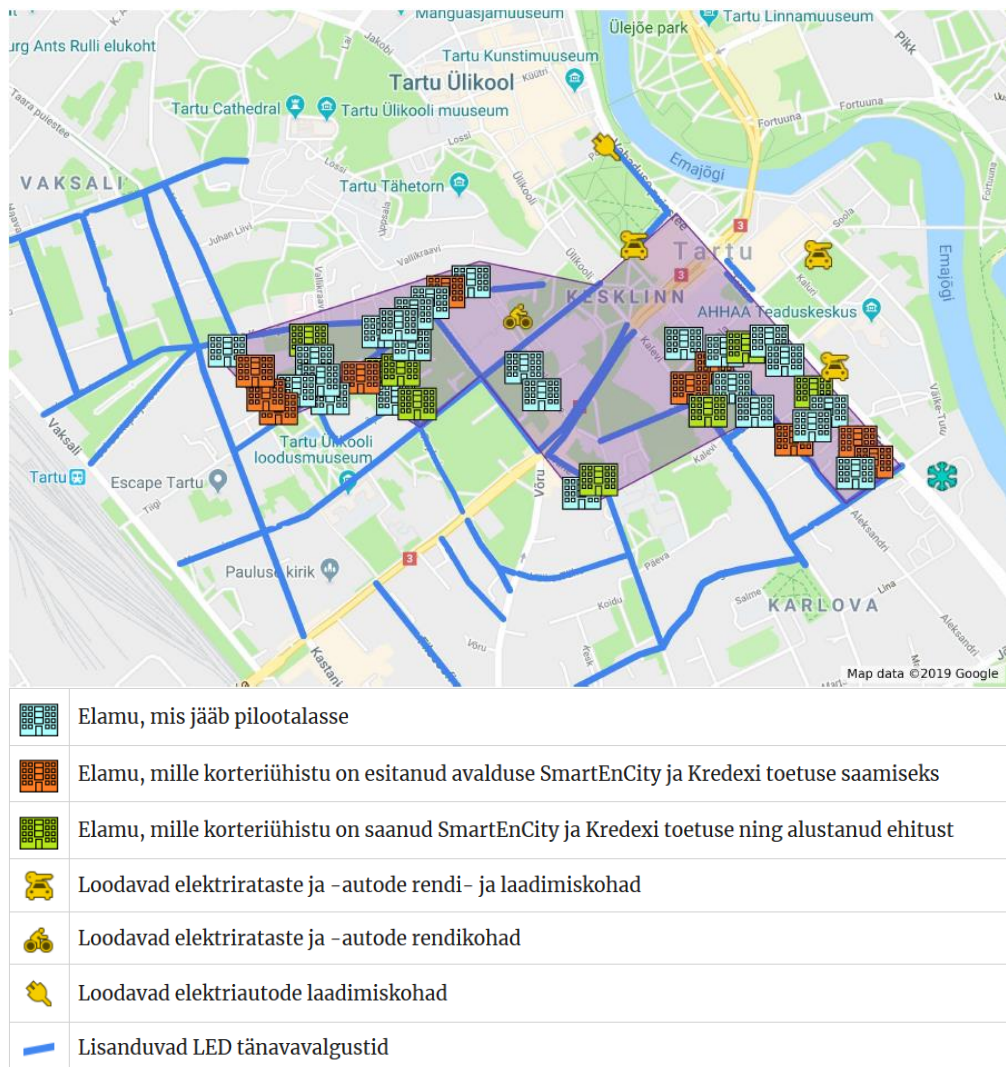
Tulemus võib olla väiksem juhendis toodud keskmisele, sest korterites on kasutusel osaliselt elektriboilerid.

Elektritarbimise erikulu energiaauditi koostamise juhendi järgi ilma elektripliitideta on 25...30 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Aleksandri 12 hoones on elektrienergia eritarbimine 33,4 kWh/(m<sup>2</sup>·a), hoone elektri eritarbimine võib olla suurem juhendis toodust, kuna osaliselt kasutatakse elektripliite ja elektriboilereid sooja tarbevee tootmiseks.

## **1.6 SmartEnCity projekti raames ehitatavad hooned**

### **1.6.1 SmartEnCity projekti kirjeldus**

Tartu osaleb kogu Euroopas ainulaadses koostööprojektis SmartEnCity, mille käigus kujuneb 50-60ndatel ehitatud kortermajade piirkonnast tarkadel lahendustel toimiv ja energiasäästlik linnaosa [14].



**Joonis 6.** Projekti pilootala [15]

SmartEnCity projekti rahastatakse Euroopa Liidu teadusuuringute ja innovatsiooni raamprogrammist Horisont 2020. Projekt algas 2016. aasta veebruaris ning kestab kuni 2021. aasta juulini, millest põhitegevused tuleb ellu viia esimese kolme aastaga ning viimased aastad on planeeritud tulemuste hindamisele ja levitamisele [14].

Lisaks hoonete renoveerimisele ning targa kodu rakendustele pakub nutika linnaosa projekt uuenduslikke lahendusi kaugküttes, transpordis, tänavavalgustuses, taastuvenergia kasutamises ning elanike kaasamises ja teadlikkuse suurendamises. Linnaossa tulevad ka elektriautode laadimispunktid ning elektriautode ja -jalgrataste rendipunktid [14].

Toetuse määr on 102 eurot korterelamu suletud netopinna kohta [16], mis käesolevas magistritöös uuritavas hoones oma 3174,3 ruutmeetriga oleks 323778,6 €.

SmartEnCity projekti raames alustati korterelamute kavandamist ja projekteerimist juba 2016. aastal. Toetuse saamine oli tihedalt seotud SA KredEx poolt pakutava korterelamute toetusega, kus 40% ehitusmaksumusest pidi tulema KredExi-st ning SmartEnCity pidi katma nutikate lahenduste tõttu ehitushinna kallinemise. See andis võimaluse viia hruštšovka-tüüpi hoone rekonstrueerimise kogutoetuse ligi 70%-ni ehitusmaksumusest. Paraku peatati septembris 2017. aastal toetuste taotluste vastuvõtt seoses eelarve vahendite lõppemisega. Need kortermajad, kes veel selleks ajaks ei olnud jõudnud KredExisse taotlust sisse anda, jäid toetusest ilma. Käesolevas magistritöös uuritav hoone oli küll toetuse taotluse sisse andnud, aga teinud seda ilma kehtiva ehitusteatiseta. Eelmine projekteerija oli majanduslikes raskustes ning ei võtnud vastutust. Korterühistu võttis riski ning tellis uue ehitusprojekti, lootes SA KredExi toetustest ikkagi osa saada. Hetkel (mai 2019 a. seisuga) oodatakse SA KredEx toetuse taotluse vastust.

### **1.6.2 Ehitamisel olevad SmartEnCity projektid**

Käesoleva lõputöö koostamise tarbeks uuriti teadaolevate ehitatavate liginullenergia hruštšovkade ehitusteatisete menetlemiseks esitatud dokumentatsiooni.

Elamud, mille korteriühistu on saanud SmartEnCity ja KredExi toetuse ning alustanud ehitust asuvad Tartus aadressil J. Kuperjanovi 2, Kalevi 10, Pepleri 3, Pepleri 10, Pepleri 12, Tähe 2, Turu 3 ja Turu 9 [15].

Esimesed projektis toetuse saanud kortermajad valmivad 2019. aastal. Seoses 2015. aastal vastu võetud Ehitusseadustikuga ning ehitusteatisete menetlemise kohustuslikkusega ehitusregistri kaudu, on kõikide pilootprojektide loataotluseks esitatud projektid avalikult kättesaadavad. Samuti saab ehitusregistrist näha hoone varasemaid ja kehtivaid energiamärgiseid ning nende arvutamise algandmeid.

SmartEnCity programmi raames valmivate ülal loetletud hoonete olemasolev energiamärgis ja projektipõhiselt arvutatud energiamärgis on toodud tabelis (Tabel 3). Samuti on tabelis näidatud energiamärgiste arvutamisel kasutatud köetav pind.

**Tabel 3.** Toetuse saanud ja ehitamist alustanud liginullenergiahooned [12]

Hoone	Olemasoleva energiamärgise klass	Kaalutud energia-erikasutus kWh/m <sup>2</sup> •a	Arvutuses kasutatud kütav pind m <sup>2</sup>	Arvutuslik energiamärgis kWh/m <sup>2</sup> •a	Kaalutud energia-erikasutus kWh/m <sup>2</sup> •a	Arvutuses kasutatud kütav pind m <sup>2</sup>
Kuperjanovi 2	F	267	1478,5	A	89	2074,1*
Kalevi 10	F	279	1355	A	90	1652*
Pepleri 3	E	234	1216,4	A	89	1368,8*
Pepleri 10	F	237	2138,5	A	90	2531,4*
Pepleri 12	F	254	2140	A	90	2521,2*
Tähe 2	F	257	1440	A	77	1440
Turu 3	F	245	1494	A	90	1741*
Turu 9	F	271	1420	A	90	1604,1*

Tabelis on nõ tärniga („\*“) märgitud ühe ja sama isiku poolt väljastatud märgis. Kaheksast toetuse saanud hoonest esitas seitse arvutuslikku energiamärgist üks isik, kasutades programmi BV<sup>2</sup> [12]. Enamustel hoonetel oli suurendatud projekteerimise käigus hoone kütavat pinda. Ühe hoone energiatõhususe arvutamisel oli kasutatud IDA-ICE tarkvara (programm, mida kasutatakse käesolevas lõputöös).

Projektipõhine arvutatud energiamärgis hakkab kehtima koos kasutusteatise kooskõlastamisega ning kehtib 2 aastat. Tegelik energiatarbimise kohta antud energiamärgis kehtib 10 aastat [17]. Kõik ülalnimetatud hooned peaksid saama kasutusteatise 2019. aasta jooksul. Korterelamud peavad 2021. aasta jooksul esitama kasutusandmete põhjal koostatud energiamärgised.

## 1.7 Energiatõhususe miinimumnõuded liginullenergia hoonete kavandamisel

Hoone energiatõhususe tase „Liginullenergiahoone“ ehk energiamärgise A-klass tähendab, et hoone on parima võimaliku ehituspraktika kohaselt energiatõhus- ja taastuvenergiatehnoloogiate lahendusi kasutades tehniliselt mõistlikult ehitatud hoone, mille energiatõhususarv on suurem kui 0 kWh/(m<sup>2</sup>•a), kuid mitte suurem, kui määruses sätestatud piirväärtus [18].

Hoonete energiatõhusust väljendatakse energiatõhususarvuga (ETA), mis kirjeldab hoone summaarset energiakasutust nii sisekliima tagamiseks, tarbevee soojendamiseks kui ka olme- ja muude elektriseadmete kasutamiseks. Energiatõhususarv on arvutuslik summaarne

tarnitud energiatega kaalutud erikasutus hoone standardkasutusel, millest arvatakse maha summaarne eksporditud energiatega kaalutud erikasutus. Tarnitud energia all mõistetakse hangitud elektrit, kaugkütet või kütuseid. Eriakasutus on aastane energiakasutus kilovatt-tundides hoone köetavate ruumide netopindala kohta [ $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ]. Energiatõhususarv arvutatakse hoone sisekliima tagamisega ruumide netopindala kohta (köetav pindala) hoone standardkasutusel [7].

Käesoleva lõputöö kirjutamise ajal hakkasid kehtima uued energiatarbimise arvutamise miinimumnõuded [19].

Muudatusi, mis hakkasid kehtima jaanuaris 2019 a. oli päris palju ning olulisemad tuleb siin ära märkida.

- 1) Lisandus mõiste „tõhus kaugküte“, mille kaalumistegur on 0,65.
- 2) Energiatarbimise arvud on toodud erinevatele hoonetüüpidele Ettevõtlus- ja infotehnoloogiainistri määruse nr.63 lisas nr 2. Liginullenergiahoone kasutusotstarbega „Korterelamu“ on energiatarbimisarvu piirväärtus  $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  [19].
- 3) Liginullenergiahoone energiatarbimisarv peab vastama madalenergiahoone piirväärtusele energiaarvutuses lokaalset elektri tootmist taastuvast energiaallikast arvesse võtmata. [19]
- 4) Kaugkütte kasutegur (soojusvaheti kasutegur) oli varem 1 aga nüüd on see 0,9. Joonkülmasilade näited on määrusest välja võetud ning edaspidi peavad arvutustes kasutatud joonkülmasilade väärtused olema viidatud [20].
- 5) Muutusi õhulekke baasväärtused, mis parandavad simulatsiooni tulemusi.
- 6) Suurim muudatus on päikeseelektrijaama kajastumine energiatarbimise arvutuses. Eelnevas energiatarbimise meetodikas lahutati lokaalselt päikesepaneeliga toodetud elekter hoone standardkasutusele kuuluvast elektrist. 2019. aastal kehtima hakanud meetodikas lubatakse omatarvet vastavas tarkvaras simuleerida või kasutada standardis esitatud omatarbe osakaalu protsenti (korterelamus 55%). ETA arvutuses ei ole enam lubatud maha lahutada päikesepaneelide aastast tootmist, vaid ainult omatarbeks kasutatud osa.

Käesoleva magistritöös uuritakse liginullenergiahooneks renoveerimise võimalust ning energiatarbimisarvu leitakse mõlema määruse järgi, kuna ehitusteatist uuritavale hoonele on

väljastatud 2018. aastal. Kui korterelamu rekonstrueerimise finantseerimise plaan ei õnnestu ja soovitakse projektlahendust muuta, on vaja esitada uus ehitusprojekt.

Kui ehitamist on alustatud ning ehitamise käigus muudetakse projektlahendusi energiamärgist mõjutataval korral, on vaja kasutusteatisel ajal esitada uus energiamärgis [17].

Hoonetele, mille ehitusloa taotlus või ehitusteatis on esitatud enne 2019. aasta 1. jaanuarit, kohaldatakse majandus- ja taristuministri 3. juuni 2015. a määruse nr .55 „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded” nõudeid [19].

## **1.8 Oluline ja väheoluline rekonstrueerimine**

Kuna Aleksandri 12 korterelamu rekonstrueerimise finantseerimise plaan on ebaselge ning võimalikud rekonstrueerimise lahendused võivad tulla veel kaalumisele, siis on vaja kaaluda läbi ka soodsamad rekonstrueerimise variandid.

Hoonele on eelprojektiga väljastatud ehitusteatis 2018. aastal, seega vastavalt ehitusseadustikule, tuleb esitada kõik ehitamise käigus tehtud energiatõhusust mõjutavad projektimuudatused ehitusloa andmise hetkel kehtivatele määrustele. Projektimuudatus, mis mõjutab energiamärgise klassi, on oluline muudatus ning taotlema peab uue ehitusloa [17]. Uus ehitusloa aga kooskõlastatakse kohaliku omavalitsuse poolt ehitusteatisel taotlemise aastal kehtivate nõuete järgi.

Ehitatav uus või oluliselt rekonstrueeritav olemasolev hoone peab ehitamise või rekonstrueerimise järel vastama energiatõhususe miinimumnõuetele. Kui ehitamine toimus ehitusloa alusel, peab ehitus vastama loa andmise ajal kehtinud energiatõhususe miinimumnõuetele [17].

Kui Aleksandri 12 korterelamu ei saa riiklikku tuge renoveerimise finantseerimisel, siis võib juhtuda, et valminud projektlahendus on vaja ümber projekteerida. Kas seadusest tulenev energiatõhususe miinimumnõuete tõendamine on kohustuslik või mitte, on vaja käsitleda ehitusprojektis.

Oluline rekonstrueerimine on ehitamine, mille puhul hoone piirdekonstruktsioonide muutmise ja kande- ja jäigastavate konstruktsioonide muutmise ja asendamisega või välispiire ja tehnosüsteemide või nende osade muutmise või tehnosüsteemi tervikliku

asendamisega seotud kulud on suuremad, kui üks neljandik rekonstrueeritava hoonega samaväärse hoone keskmisest ehitusmaksumusest [17].

Seoses soojustuse lisamisega muutub hoone suletud brutopind. Seadusandluses ei ole täpsustatud, kas samaväärsust arvestatakse uue olukorra järgi või võetakse arvutuse aluseks olemasoleva hoone välisseina pind.

Käesolevas magistritöös on tõlgendanud ehitusseadustikku nii, et samaväärne rekonstrueeritav olukord on enne välisseina soojustuskihi paigaldamist fikseeritud olukord. Ehk siis brutopinna sisse ei arvestata paigaldatavat soojustuskihti. Suletud brutopinna hulka arvestatakse ka maa-aluste korruste suletud brutopind [21]. Aleksandri 12 hoone suletud brutopind on  $3990 \text{ m}^2$  (6 korrust  $665 \text{ m}^2$  korruse kohta).

Ühe neljandiku samaväärse hoone ehitamise maksumuse saab välja arvutada majandus- ja taristuministri määruse „Hoone keskmise ehitusmaksumuse hindamise kord“ järgi. Baasaasta ehitusmaksumus suletud brutopinna ruutmeetri kohta seisuga 1. jaanuar 2007 aasta on  $569 \text{ €}$  koos käibemaksuga [22].

Autori arvutused vastavalt määrusele 2019. aastal, on korterelamu keskmine ehitusmaksumus  $614 \text{ €/m}^2$ . Arvutuses on kasutatud ka statistikaameti kodulehelt pärinevaid andmeid [23]. Aleksandri 12 hoone samaväärse hoone ehitusmaksumus on  $2.450.000 \text{ €}$ . Neljandik sellest on  $613.000 \text{ €}$ . Tehnikakõrgkooli üliõpilane tugineb oma lõputöös [8] Tartu Regiooni Energiaagentuuri ekspertide hinnangule ja kasutab oma arvutustes ehitusmaksumuseks  $250 \text{ €/m}^2$  (suletud netopinna kohta). See teeb Aleksandri 12 elamu hinnanguliseks ehitushinnaks  $7.925.00 \text{ €}$ , mis on oluliselt suurem, kui neljandik samaväärse hoone ehitusmaksumusest. Seega esimesel arvutamisel on Aleksandri 12 ehitustegevuse planeerimisel tegemist olulise rekonstrueerimisega. Olulise rekonstrueerimise puhul ei tohi energiatõhususarv ületada  $150 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ .

## **1.9 SA KredEx uus ja eelmine määrus**

### **1.9.1 Toetuse andmise määruse muutus**

Aprillis 2019 a. hakkas kehtima uus ettevõtlus- ja infotehnoloogiaministri määrus „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused ja kord“ [24].



Määruses on eraldatud Tartu ja Tallinna piirkond, kus sisuliselt peab toetuse saamiseks kõik määruses toodud nõuded täitma.

Eelmise KredEx toetuse tingimustele vastamise korral oli võimalik taotleda 40% -st toetust ehitusmaksumusest. Uute tingimuste puhul on see sama toetus Tallinnas ja Tartus vaid 30%. Hoone omanikud peavad toetuse taotlemiseks vaatama üle oma finantsvõimalused. 2018. aastal projekteeritud ehitustöodes sisulist muudatust ei toimu.

### **1.9.2 Ruumiõhust sõltuvate gaasiseadmete eemaldamise nõue**

Rekonstrueerimise toetuses on toodud nõue, et toetuse saaja peab projekti elluviimise tulemusena eemaldama korterites asuvad ruumiõhust sõltuvad loomuliku tõmbega korstnalõõriga ühendatud gaasiveesoojendid või gaasikatlad, välja arvatud kinnise põlemiskambriga ruumiõhust sõltumatud gaasiveesoojendid või gaasikatlad [24].

Gaasipaigaldised on sellist tüüpi hoonetel reeglina eluruumi õhust sõltuvad. Autori arvates olid köökide põranda alla viivad värsketuavad sinna paigaldatud: a) gaasilekke riskide maandamise pärast või b) gaasiseadmete põlemisõhu juurdevoolu pärast. Käesoleva magistr töö raames analüüsitud kirjandusest täpselt ei selgu, millistel põhjustel need avad sinna ehitati. Ehitusaegselt olid gaasiveesoojendid ette nähtud kööki välisseina lähedusse, kuid mõnede korterite remondi käigus on need ümber paigaldatud vannitubadesse. Väikeses ruumis on sellised seadmed eriti ohtlikud, sest vannitubades puuduvad sageli siirdeõhuavad ning põlemisõhu vaeguse tõttu võib seadmest ruumi lekkida mürgist süsihappegaasi. Kindlasti on sellised juhtumid seotud ka õhutihedamate akende paigaldamise ning köögikubude kasutusele võtmisega korteris. Köögikubud võivad töötada kuni 200 l/s võimsusel, mis tekitab korterisse piisava alarõhu, kui aknad kinni hoida. Toetuse määrusesse on punkt lisatud ilmselt inimeste ohutuse huvides.

Käesoleva töö raames uuritavas Aleksandri 12 hoones on gaasiveesoojendid kasutusel.

## 2 ALEKSANDRI 12 HOONE RENOVEERIMINE

### 2.1 Renoveerimiseelne olukord

Üldiselt olid inseneridel „hruštšovkade“ planeerimisel ehitusfüüsikalised teadmised olemas ja võimalike probleemide vältimiseks kasutati lihtsat võtet – üle kütmine [11].

Niiskuse kondenseerumist ei ole, kui sisetemperatuurid on kõrged. Aknad olid kavandatud ebatihedad ning sellest pidi tavaolukorras inimestele õhuvahetuseks piisama. Kodus viibivatel inimestel on alati võimalus tuulutada oma elamispinda avatavate akende kaudu. Juba mõnda aega on levinud akende kinni teipimise komme, et ei tekiks tuuletõmbust. Enamasti on ehitusaegsed aknad vahetatud plastraamidega pakettklaasidega akende vastu. Need aknad on oluliselt õhutihedamad. Vahetatud akendega on tekkinud palju probleeme paigaldamise osas. Väljastpoolt on jäetud vuugid ilmastikuoludele avatuks ning päike, vihm ja ka linnud on akende tihendamiseks mõeldud vahu hävitanud. Sellistest kohtadest puhub tuul ja sajab vihm konstruktsiooni sisse ning konstruktsioonis tekivad suured niiskuse probleemid. See omakorda halvendab veel seina konstruktsiooni soojapidavust. Akende tihendusvahu puudumise tõttu kondenseerub akende nurkades niiskus ja levib hallitus.

Aleksandri 12 hoone kasutusajal on korteriühistu ühiselt teinud vaid ühe suurema investeeringu ja seda aastal 2013. Ümber on ehitatud terve küttesüsteem ühetorusüsteemilt kahetorusüsteemile.

Küttesüsteemi ei pea korterelamu saneerimisel uuesti ümber ehitama. Küttesüsteemi ümberehitamise käigus on keldrisse rajatud koosolekuruum, kuhu on paigaldatud ka radiaatorid. Radiaatorid on välja lülitatud ning korteriühistu esimehe sõnul kasutatakse ruumi 1-2 korral aastas korteriühistu koosolekute pidamiseks. Käesoleva töö raames arvestatakse see ruum madala temperatuuriseadega pinna hulka koos ülejäänud keldri osaga.

Aknad on vahetatud 90% ulatuses PVC raamidega akende vastu. Esialgse baasmudeli simuleerimisel on kasutatud kogu akna soojusjuhtivuse väärtust  $U=1,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Tänavapoolsed keldriaknad on kinni müüritud. Seoses päästeameti nõuetega on vaja vähemalt üks varem suletud ava suitsu eelmaldamiseks taas avada. Vahetamata on veel kõik hoovipoolsed keldriaknad. Keldri ehitusaegsed ukSED on välja vahetatud metallist välisuste vastu.

## 2.2 Kõetav pind

Ehitusregistris Aleksandri 12 elamu kõetavat pinda ei ole märgitud.

Vastavalt Majandus- ja taristuministri määrusele nr. 36 - kui ehitisregistris kõetava pinna ja madala temperatuuriseadega pinna suuruse kohta andmed puuduvad, võib kõetava pinna ja madala temperatuuriseadega pinna määramisel kasutada:

- hoone kohta koostatud dokumentatsiooni (näiteks ehitusprojekt või mõõdistusprojekt);
- energiamärgise tellijalt saadud andmeid.

Hoonele koostatud energiaauditis oli märgitud kõetavaks pinnaks 3174,3 m<sup>2</sup> [10]. 2017. aastal koostatud energiamärgises on toodud kõetavaks pinnaks 2674,4 m<sup>2</sup> [12]. Hoone kõetav pind vajab täpsustamist.

Kõetav pind on ehitusseadustiku mõistes hoone kõikide sisekliima tagamisega ruumide suletud netopindade summa. Suletud netopind on kõigi korruste brutopind, millest on maha arvatud välistarindite, sisetarindite ja mittekandvate tarindite alused pinnad. Samuti on maha arvatud alla 1,6 meetri kõrgused ruumi osad. Suletud brutopind on mõtteline horisontaalne tasapind, mis asub korrust ümbritsevate välispiirte pinna viimistlusest või kui piirdes on ava või kujunduslik element, siis välispiirdeid ühendavast mõttelisest joonest seespool [21].

Hoone sisekliima tagamine on energia kasutamine ventilatsiooniks, nõuetekohase ruumitemperatuuri hoidmiseks ning valgustamiseks vastavalt hoone tüüpilisele kasutamisele [25].

Ehitusregistris on hetkel hoone kohta andmed.

- Suletud netopind 3174,3 m<sup>2</sup>
- Eluruumide (korterite) pind 2530,4 m<sup>2</sup>
- Üldkasutatav pind 146 m<sup>2</sup>
- Ülejäänud pinnaks (tehnopind, kelder) autori arvutusel 497,9 m<sup>2</sup>

Varasemate seaduste ja juhendit põhjal ei vasta tihtipeale olemasolevate hoonete pinnad hetkel kehtivatele pindade arvutamise juhenditele. Projekteerimise osas peab arhitekt projektiga kinnitama uue kõetava pinna suuruse ning selle ehitusregistrisse kandma. Energiaarvutuses toodud ja ehitusregistris toodud kõetavad pinnad peavad olema kooskõlas.

Energiatõhususe miinimumnõuded määrus ütleb, et madala temperatuuriseadega pind on sisekliima tagamisega ruumide netopind, mille kütmise seadeväärtus on oluliselt madalam, kui määruse lisas toodud ruumitemperatuuride seadeväärtus (korterimajadel 21 kraadi). Määrusest ei loe välja, kui palju on oluliselt madalam.

Vastavalt Majandus- ja Taristuministri määrusele on Aleksandri 12 korterite köetav pind on 2530,4 m<sup>2</sup> ja trepikodadel 208 m<sup>2</sup>. Trepikodade pinnad võetakse arvesse igal korrusel [21]. Trepikoda algab uuritava hoone puhul keldrikorruse tasapinnast. Köetav pind on kokku 2738,4 m<sup>2</sup>.

Hoone keldriosas on ühistu koosolekute pidamiseks tehtud ruum, kuid ühistu esindaja sõnul on need koguaeg välja lülitatud. Sisekliima tagamist selles ruumis ei ole ning seda ruumi köetava pinna sisse ei arvestata. Kuna trepikojad asuvad keldri tasapinnas, siis kogu ülejäänud keldriruum on madala temperatuuriseadega pind. Keldri peal paiknevad soojad köetavad ruumid ning keldrilagi on soojustamata. Kaudselt köetakse keldrit ümbritsevate ruumide ja keldrikorruusel paiknevate tehnoruumidest eraldavate vabasoojuste kaudu.

## **2.3 Välispiirded**

Vastavalt Majandus- ja taristuministri määrusele nr. 58 „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika“, tuleb kasutada määruses toodud välis- ja sisekliima, hoone ja tehnosüsteemide kasutus- ja käiduaegade, vabasoojuste ning välispiirde õhulekke lähteandmeid. Muud arvutuseks vajalikud lähteandmed võetakse ehitusprojektist.

Aleksandri 12 hoone kohta ei ole alles 1963. aasta ehitusdokumente ning enne mudeli koostamist teostas käesoleva töö autor hoone mõõdistamise.

Mõõdistamine viidi läbi kasutades lasermõõdikut, inventariseerimise plaane, geodeetilist alusplaani, energiaauditit ning ehitusregistrit. Mõõdistusprojekti tegemise ajal konstruktsioone ei avatud, kuid visuaalsel vaatlusel selgus, et välisseinad on konkreetsel ehitusaastal laialt levinud 43 cm paksune 1,5-kordne silikaattellisest müüritis. Telliskivi mõõdud olid 250 mm, 120 mm ja 65 mm. Müüritise mördivuugid on keskmiselt 13 mm paksud. Otsaseinas on kasutatud välisvoodriks punast savitelliskivi. Pööningul on säilinud ehitusaegne olukord. Vundament on paekivist 500 mm paksune. Sokli sein on silikaattellistest müüritis 700 mm kõrgune osa keldriakende alumiselt kõrguselt.

Eelnevalt tehti hoone välisgabariidi mõõdistus, aknaavade mõõdistus, ning korterite plaanid joonistati sisse kasutades inventariseerimisjoonistes toodud ruumide mõõte.

Inventariseerimisjoonistelt ei ole võimalik välja lugeda akende asukohtasid ruumide siseseinte suhtes, mis on väga oluline ventilatsiooniavade kavandamiseks läbi välisseina. Sellepärast täpsustati esialgseid jooniseid täiendava objektikülastuse käigus. Kui esialgne korruste plaanide eskiis sai valmis, siis tehti välitööd selliselt, et valiti päeval pealelõunane aeg, kus on suurem tõenäosus inimeste kodus olemiseks. Objekti teisel külastamisel tehti pisteliselt uuring korterites, kus märgiti:

- Akna kaugused siseseinast.
- Akna valgusavade mõõdud.
- Ventilatsiooniavade ligikaudne kaugus seinast.
- Vannitoa/wc ukse asukoht.
- Hinnati siirdeõhu levimise võimalust korteris.
- Aknalaua kõrgus.
- Plaanile märgiti ka planeeringu muudatused.

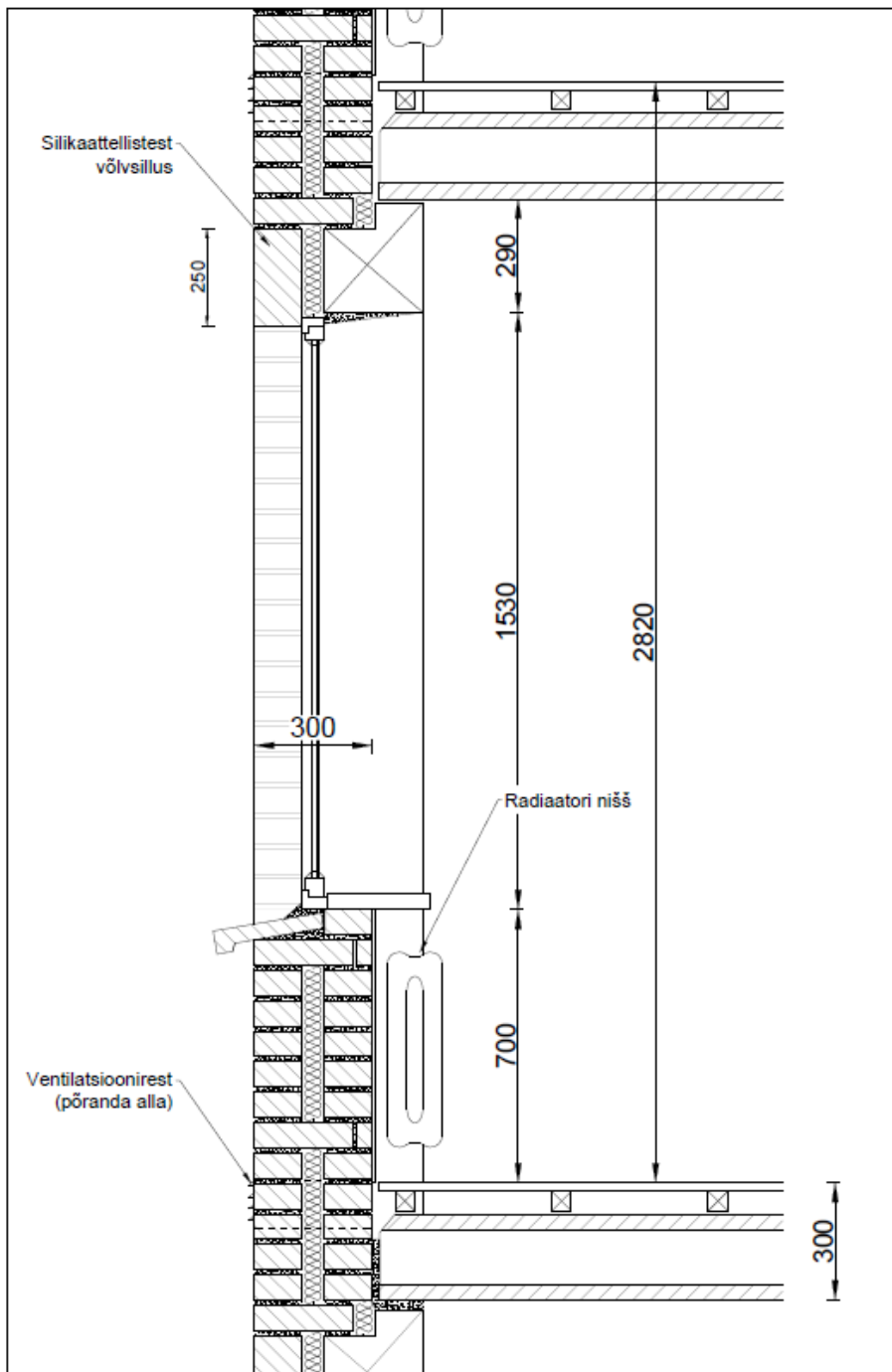
Kirjandusest kogutud materjali ja hoone mõõdistamise käigus uuritud välispiirded ja nende simulatsioonis kasutatud arvvaartused on toodud järgnevas tabelis:

**Tabel 4.** Baasmudelil kasutatavad piirded

Piirde nimetus	U-arv $W/[m^2 \cdot K]$
Silikaatelistest müüritis 43cm	1,15
Vundament paekivimüüritis	2,15
Keldri vahelagi	2,15
Aknad	1,8
Pööningu vahelagi	0,8

Uuringus kasutatud külmasildade soojusjuhtivuse valik tugineb erinevate uuringutes, määrustes ning kirjandustes esitatule [7], [11] [25].

Tellistest 120 mm paksune välisvooder ei ole vihmatihe. Tugevama kaldvihmaga märgub fassaad ja vesi tungib fassaadikivide taha [7]. Niiskus kuivab aeglaselt läbi poorse silikaatellise välja, sest õhkvahed on umbsed ning mittetuulduvad. Pikaajalisel vihmaperioodil märgub välissein ka sügavamale. Niiske konstruktsioon on suurema soojusjuhtivusega ning selle tõttu on niiskema konstruktsiooniga hoone energiakaod suuremad.



**Joonis 7. Aknasõlme vertikaallõige**

Käesolevas lõputöös on kõikide konstruktsioonide U-arvude arvutamiseks kasutatud sakslase Ralf Plag koostatud tööriista (edaspidi Ubakus), mis on leitav aadressil [www.ubakus.ee](http://www.ubakus.ee) [26]. Ubakus võimaldab täpselt uurida konstruktsioone koos külmasildadega. Saab kontrollida niiskuse kondenseerumist. IDA-ICE programmis on sisseehitatud lihtsustatud homogeensete materjalidega U-arvu kalkulaator, seepärast on vaja konstruktsioonide täpsem keskmine soojusjuhtivus alati üle täpsustada.

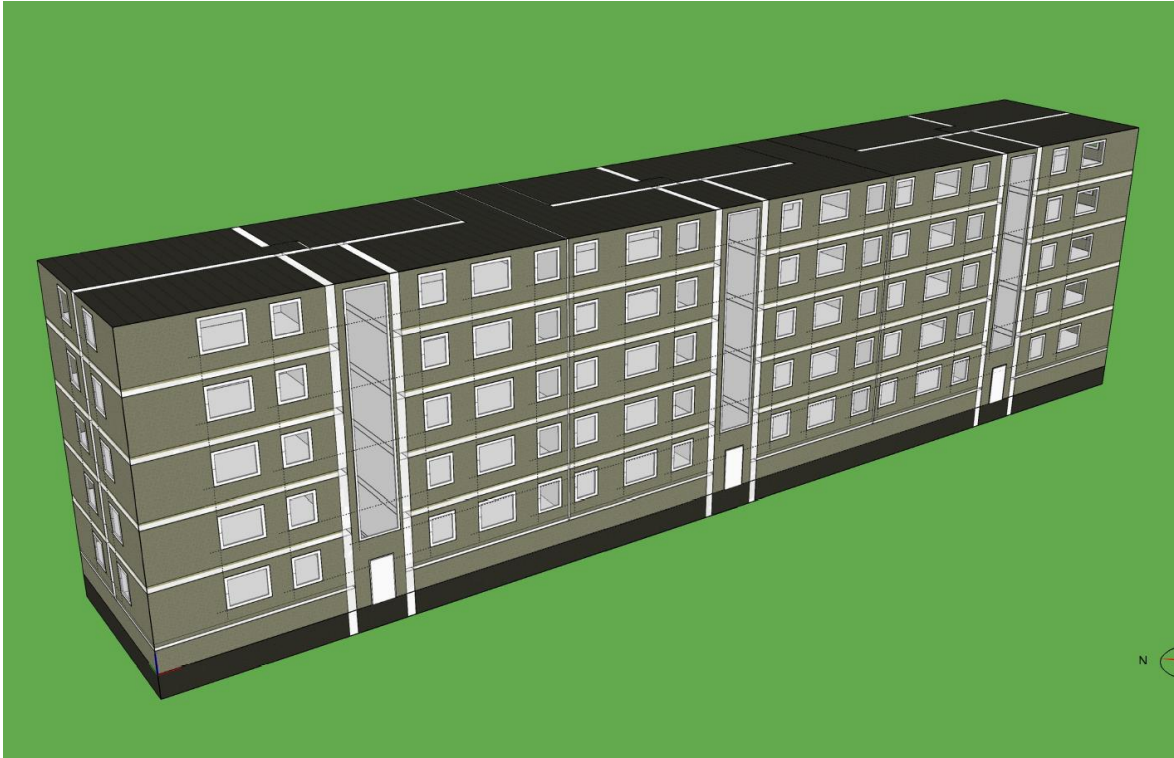
## **2.4 Küttekulude leidmine kasutades IDA-ICE 4.8 tarkvara**

### **2.4.1 IDA ICE 4.8 tarkvara**

Magistritöös on koostatud arvutusmodel uuritava hoone kohta kasutades energiatarbe- ja sisekliima programmi IDA ICE 4.8.

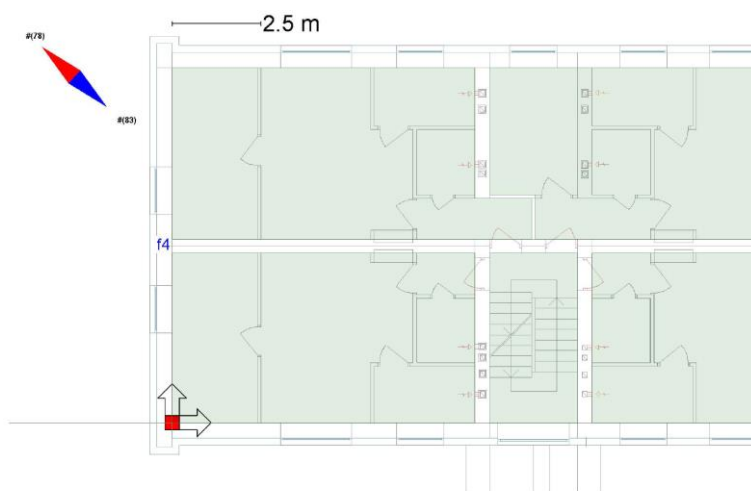
IDA-ICE 4.8 tarkvaras arvutusmodeli koostamine, sealse info haldamine ja muutmine vajab natuke eriteadmisi. Olles tarkvaraga juba tuttav, võib (kasutades tarkvara tootjapoolset Eesti lisa) lihtsama hoone arvutusmodeli valmis teha paari tunniga. Tarkvara Eesti lisas on vastavalt uuele 2019 aasta määrusele vabasoojused, kasutusaegade graafikud valmis sätitud nii, et vajalik on vaid tsoonide ja akende sisestamine.

Mudeli koostamiseks kasutati autori koostatud mõõdistuste järgi koostatud .dwg formaadis jooniseid. Jooniseid on võimalik importida IDA-ICE programmi ning nende põhjal seada üles kolmemõõtmeline arvutusmodel (Joonis 8). Hoone paikneb mudelis vastavalt ilmakaartele. Model sisaldab 64 tsooni (60 korterit, 3 trepikoda ja kelder). Hoone välispiirde konstruktsioonid ja aknad on sisestatud baasmudelisse vastavalt punktis 2.3 kirjeldatule. Arvutusmodeli 3D vaatel (Joonis 8) on näha ka vahelagede ja siseseinade tsoonide vahelised joonkülmasillad heledama värviga fassaadil. Energiatõhususe arvutamise metoodika määrus ei eelda kõikide ruumide tsoonideks jaotamist ning lubatud on ka 1 tsoon korruse kohta [25].



**Joonis 8.** Uuritava kortermaja arvutusmodel IDA-ICE tarkvaras.

Arvutustsoonid korrustel on koostatud korteri sisepindade järgi vastavalt korruse plaanile lihtsustatud kujul. See tähendab, et korteri siseseinade alune pind (roheline ala, Joonis 9) jääb simulatsiooni mudelis eluruumi pindade sisse. See on ka üks suuremaid põhjuseid, miks IDA-ICE simulatsiooni tulemustest ei võeta pumpade, valgustuse ja seadmete elektrienergia väärtust energiatõhususe arvutamiseks, sest mudeli pind on suurem reaalsest köetavast pinnast.



**Joonis 9.** Lihtsustatud arvutustsoonid plaanil

Trepikojad on sisestatud ühe ruumina, mis ulatub keldri põrandast pööningu vahelaeni. Pööninguruumi eraldi välja ei joonistatud, kuid sisuliselt on võimalik pööninguruum



simulatsiooni arvutustes arvesse võtta. Tuulevaikne pööning mõjutab puhvertsoonina ka energiatõhusust. Üliõpilase programmi tundmise tase ei võimaldanud aga sellist viilkatusega tsooni usaldusväärsel moel mudelisse sisestada. Lubatud on energiatõhususe miinimumnõuete kontrolliks ka lihtsustatud arvutusmodel.

Erinevate simulatsioonide muudatused on võimalik IDA-ICE programmis salvestada versioonina ning versioonide tulemusi omavahel võrrelda versioonipuu (joonis x). Näiteks, kui mingis konstruktsioonis teha muudatus, siis selle muudatuse versioonina salvestades jäävad mõlemad failid alles ning neid saab omakorda muuta ning nendest versioone salvestada. Kõrvale tulpadesse on kuvatud ainult need osad, mis on mudelist kantud Exceli tabelisse, kus toimub lõplik ETA arvutus.

		Ruumide küte	Vent. küte	Vent. EI
		kWh	kWh	kWh
-	Aleks12	351683.7	63532.1	2540.7
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus	75487.3	63530.9	2540.7
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + keldrilae soojustamine	70691.8	63530.3	2540.7
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + keldrilae soojustamine +SK	84852.5	186780.0	12457.3
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + keldrilae soojustamine +STSK	81819.9	30208.8	24455.0
-	Aleks12.1_EA +keldrilagi+STSK+aken ol. ol asuk	78580.1	30333.8	24455.0
-	Aleks12.1_EA +keldrilagi+STSK+akenU1.0	54229.3	30180.2	24455.0
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + Keldrilae asemel kyte keldris +STSK 3	87486.7	30282.2	24455.0
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + Keldrilae asemel kyte keldris16 +STSK	89800.1	30270.2	24455.0
-	Aleks12.1_nZEB	44244.1	29821.0	20791.0
-	Aleks12.1_nZEB_v02	44244.1	29821.0	20791.0
-	Aleks12.1_SMARTENCITY_01.1	44244.1	29821.0	20791.0
-	Aleks12.1_SMARTENCITY_02imp	36166.9	23549.4	15410.0
-	Aleks12.1_SMARTENCITY_3.3	36160.4	8833.1	15380.0
+	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + SK klass II	89673.1	186725.0	14941.0
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + SK klass II (soojustagastusega)	89635.9	30458.8	14682.0
+	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + SK klass II+STvent+Aken 1,1	63830.4	29073.6	24331.0
-	Aleks12.1_Energiaauditi soovitus + SK klass II+STvent+Aken 1,1 +viil	53737.6	28868.3	24331.0
-	Aleks12.1_EAsoov +STSK klass II+Aken 1,1+aken olol tasapind	67158.3	29266.8	24331.0
-	Aleks12.1_EA + SKII+STvent+Aken1,1+kelder14	77473.8	28887.1	24331.0
-	Aleks12.1_EA + SKII+STvent+Aken1,1+kelder16	67365.0	29072.0	24331.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded	52371.4	30181.5	20791.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded välispiirded 200	46670.3	30044.4	20791.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded nõudluspõhine vent	41225.0	24560.7	17464.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded nõudluspõhine vent+kelder14 1	41428.3	24558.8	17464.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded nõudluspõhine vent+kelder16	43593.0	24541.6	17464.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded nõudluspõhine vent+kelder16 seinad U=0,11	40293.7	24451.4	17464.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 nõuded nõudluspõhine vent+kelder21	54839.4	24346.8	17464.0
-	Aleks12.2_SmartENcity_2018 U=0,09 (katus ja sein) T2 lahendus	34519.4	24687.0	14386.0
-	Aleks12.3_2018 energiatõhususe miinimumnõuded	83596.5	186515.0	12445.6
-	Aleks12.3_2019 Kredex miinimumnõuded 1	60932.3	30278.2	24455.0

**Joonis 10.** IDA-ICE 4.8 versioonipuu näide

Baasmodel jääb kõige esimeseks ning kõik teised mudelid on selle esimese mudeli variatsioonid. Baasmodelis on võimalik teha muudatusi nii, et need kanduvad edasi kõikidesse järgnevatesse. Näiteks, kui mudelis on mingi ruumi kõrgus valesti sisestatud, siis on võimalik esimese baasmodel versioonipuust avada, muudatus ära teha ning siis salvestada. Nii kantakse see muudatus kõikidele selle mudeli järgmistesse versioonidesse.

Tulbas olevate andmete uuendamiseks peab tarkvara kõik simulatsioonid uuesti arvutama. Ühe versiooni energiakasutuse simuleerimine võtab käesoleva töö raames koostatud mudeli korral ~20 minutit. Kui versioone on juba mitmeid, siis võib andmete uuendamine päris kaua aega võtta. Simuleerimise aeg sõltub mudeli suurusest, arvutustsoonide arvust ning arvuti võimsusest.

## 2.5 Ventilatsioon

Loomulikul tõmbel töötavat ventilatsiooni IDA-ICE programmiga simuleerida ei saa. Et mudelis katsetada energiaauditis soovitatud loomulikul tõmbel töötavat ventilatsiooni, on vaja mudelis ventilatsiooniõhu hulkasid täiendavalt modelleerida.

Hoone sisekliima tagamiseks vajaliku õhuvahetuse energiatarve sõltub ventilatsioonisüsteemi tehnilistest lahendustest. Ventilatsioonisüsteemi elektrikasutuse efektiivsust iseloomustab ventilatsioonisüsteemi elektri erivõimsus, mida tähistatakse tähekombinatsiooniga SFP (ingl. k. *specific fan power*) [18].

Selleks, et simuleerida olemasolevat loomuliku tõmbega ventilatsiooni, valisin esimeste simulatsioonide ventilatsiooni õhuvahetuse kordsuseks 0,3 1/h. See on keskmine väärtus, mis on välja pakutud energiaauditite juhendis toodud väärtustele 0,2 – 0,4 1/h [13]. Teisendades see õhuvahetuskordsus köetavate ruumide põranda pinnale lae kõrgusel 2,5 m saame õhuvahetuseks 0,208 l/s·m<sup>2</sup>. Juhendis on öeldud, et õhuvahetuse vahemik sisaldab ka infiltratsioonist tekkivat õhuvahetust. IDA-ICE tarkvaras käsitletakse infiltratsiooni ja õhuvahetust eraldi. Baasmudeli koostamisel on vaja lahutada õhuvahetuskordsuse arvust infiltratsiooni õhuvahetus. Saadud tulemus on 0,135 l/sm<sup>2</sup>. Esimese simulatsiooni arvutusel sai selgeks, et olemasoleva hoone energiakaod on suuremad, kui simulatsioonis. Tulemusest saab eeldada kahte asja, kas välispiirded on mõnevõrra suurema soojusjuhtivusega või on olemasolev ventilatsioon intensiivsem, mille tõttu on vaja küttesüsteemil rohkem välisõhku soojendada.

Välispiirete keskmise soojusjuhtivuse arvutamisel on juba võetud arvesse mineraalvilla osaline puudumine olemasolevas konstruktsioonis ning U-arv 1,15 W/m<sup>2</sup>·K on kahe äärmuse (villaga/villata olemasoleva konstruktsiooni) keskmine. Olemasolevate akende U-arv 1,8 W/m<sup>2</sup>·K on erinevates kirjandustes toodud keskmisest suurema soojusjuhtivusega. Sellest järeldasin, et olemasolev õhuvahetus peab olema suurem, kui esialgu valitud.

Kasutades IDA-ICE simuleerimist jõudsin tulemuseni  $0,17 \text{ l/sm}^2$ . Peale ventilatsiooni õhuvahetuse korrigeerimist on energiamärgise andmetes esitatud, kraadpäevadega taandatud ja kaalumisteguriga taandamata küttekulu ja IDA-ICE tarkvara simuleeritud kütteenergia erinevus 0,5%. Saadud  $0,17 \text{ l/sm}^2$  teisendades tagasi  $1/\text{h}$  saame õhuvahetuskordsuseks koos infiltratsiooniga  $0,35 \text{ 1/h}$ , mis on kooskõlas ülal toodud energiaauditi juhendis toodud vahemikuga.

Osades korterites kasutatakse elektrienergiat köögis kohtäratõmmetes ja vannitubadesse on paigaldatud väikeseid ventilaatoreid. Baasmudeli Excelis arvutamisel neid näitajaid ei arvestatud ning võrreldi ainult kütteenergiat olemasoleva olukorraga.

Liginullenergiahoonete planeerimisel soovitatakse projekteerida hoonele ventilatsioonisüsteem, mille SFP väärtus oleks  $< 1,5 \text{ W/m}^3$  [18].

Osaliselt on korterites kasutatud vannitubades väljatõmbeventilaatoreid ning köökides on kasutusel ka köögikubud. Simulatsioonimudeli olemasoleva olukorra kirjeldamiseks on kasutatud ventilatsioonisüsteemi, mille SFP on 0,6. Õhuvahetus ühe ruutmeetri kohta on  $0,17 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$ .

Rekonstrueerimise toetamisel peab toetuse saaja projekti elluviimise tulemusena eemaldama korterites asuvad ruumiõhust sõltuvad loomuliku tõmbega korstnalõõriga ühendatud gaasiveesoojendid või gaasikatlad, välja arvatud kinnise põlemiskambriga ruumiõhust sõltumatud gaasiveesoojendid või gaasikatlad [27].

Gaasipliidid võivad toidu valmistamiseks alles jääda, aga ventilatsiooni projekteerimisel tuleb arvestada lisaks põlemisõhu vajadusega.

## 2.6 Infiltratsioon

Infiltratsiooni õhuvooluhulk arvutati määruse järgi. Aasta keskmine infiltratsiooni õhuhulk arvutatakse valemiga [25]:

$$q_i = \frac{q_{50}}{3,6 \cdot x} A, \quad (1)$$

Kus:  $q_{50}$  - hoone välispiirde keskmine õhulekkearv  $\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ ;

$A$  - hoone välispiirde (sealhulgas põranda) sisepindala  $\text{m}^2$ ;

$x$  - tegur, mis viie- ja enamakorruselisele hoonele 15;

3,6 - teisendab  $\text{m}^3/\text{h}$  tulemuse  $\text{l/s}$ .

Välispiirde keskmine õhulekkearv  $q_{50}$  on määruses antud olulise rekonstrueerimise puhul 2,5 ja olemasoleval (s.h väheolulise rekonstrueerimise puhul)  $4,0 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$ .

Simulatsioonimudeli tarbeks kasutatakse olemasoleva olukorra kirjeldamisel infiltratsiooni arvu  $0,0741 \text{ l}/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$  ja terviklikult soojustatud hoones  $0,0463 \text{ l/s} \cdot \text{m}^2$  välispiirde pindala kohta.

## 2.7 Tehnosüsteemid

Tehnosüsteemide valik mõjutab energiavarustuse toimivuse kaudu terve hoone energiatõhusust. Aleksandri 12 termostaatidega radiaatorkütte süsteemi kasuteguriks on 0,97 ning soojussõlme kasuteguriks on (2019. aastal kehtiva määruse järgi) 0,9. Küttesüsteemi ja ventilatsiooni süsteemide hea toimivus on siis, kui torustikku ei ole projekteeritud palju pöördeid ja sõlmi ning valitakse õiged ventilatsiooni seadmed. Tehnosüsteemide elektrienergia tarbimist saab kompenseerida päikeseelektrijaama rajamisega.

## 2.8 Soojussõlm

Tõhusa kaugkütte piirkonnas, nagu Tartus asuv uuritav korterelamu on, tuleb parema energiatõhususe määrgi saavutamiseks kasutada energiat kohalikult kaugkütte tarnijalt.

Olemasolev soojussõlm on vaja ümber ehitada, kuna tarbevee soojendamine ja ventilatsiooni kütmine on renoveerimisjärgses olukorras kaugküttel töötav. Olemasolev radiaatorite küttesüsteem jääb alles ning tasakaalustatakse vastavalt projektile. Kuna ventilatsiooni seadmed asuvad pööningul on vaja ventilatsiooni kalorifeeri energiakandjas kasutada vee ja glükooli segu, et ära hoida süsteemi külmumisoht võimaliku elektrikatkestuse korral.

## **2.9 Muutumatud ETA komponendid**

### **2.9.1 Elektritarbimine**

Energiaühikute arvu juures on teatud komponendid otseselt seotud köetava pinnaga, mida soojustamise või muu projekteerimisega ei ole võimalik kontrollida. Need on ringluspumbad, seadmete elektritarve ja valgustuse elektrikulu.

Korterelamu kasutusastmed ja vabasoojused on toodud MTM määruses nr 58:

- Kasutusaeg 24 tundi päevas 7 päeva nädalas
- Seadmed 3 W/m<sup>2</sup> (kasutusaste 0,6)
- Valgustus 8 W/m<sup>2</sup> (kasutusaste 0,1)

Simulatsioonimudel is peab määruses toodud vabasoojused vastavalt graafikule arvesse võtma. Vabasoojuste väärtustest peab arvutama vastava elektrikulu.

Valguse elektritarbimine võrdub köetava pinna, soojuseralduse, kasutusastme ja ühe aasta tundide korrutisena taandades kilovatttundi ruutmeetri kohta aastas. See teeb kõikides korterelamutes 7 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Kuna elektrienergia kaalumistegur on 2, siis vastav ETA komponent on 14 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Seadmete elektrienergia saamiseks on vaja soojuseraldus jagada läbi arvuga 0,7 [25]. Vastav netoenergiavajadus on 22,5 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ning vastav ETA komponent peale kaalumistegurite rakendamist on 45 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Kuna Aleksandri 12 hoones on radiaatorküte, siis määruses toodud ringluspumpade elektritarve 0,5 kWh/(m<sup>2</sup>·a) tuleb samuti arvesse võtta. Vastav ETA komponent, peale kaalumisteguri rakendamist, on 1,0 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Ringluspumpade, valgustuse ja seadmete ETA on peale kaalumistegurite rakendamist kokku 60 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

### 2.9.2 Tarbevee soojendamine

Määrusest tuleneb ka sooja tarbevee netoenergiavajadus, mis on korterelamus 30 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Soojusallikaks on kaugküte, mille kasutegur vastavalt 2019. aastal kehtima hakanud määrusele 0,9. Energiatõhususe arvutamise metoodika 2018. aastal kehtivas määruses oli kasutegur 1,0 [25]. Küttesüsteemi kasuteguri leidmiseks on vaja korrutada omavahel soojuse väljastamise kasutegur ning soojusallika kasutegur. Küttesüsteemi energiakasutus saadakse netoenergiavajaduse jagamisel süsteemi kasuteguriga. Kortermaja kaugküttest sooja tarbevee tootmise korral on energiakasutus 33,33 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Kaalumisteguriks on tõhusa kaugkütte puhul 0,65, mis korrutatakse energiakasutusega. Korterelamu vastav sooja tarbevee energiakasutuse ETA komponent on 21,67 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

2018 a. kehtiva energiatõhususe arvutamise meetodi määruse järgi oli kaugkütte soojusallika kasutegur 1,0 ning vastav ETA komponent vastava kaugkütte kaalumisteguriga 27 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Ilma lokaalse taastuvenergia süsteemita on magistritöös uuritava korterelamu ETA 81,6 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

## 2.10 Päikeseenergia kasutamine elektrienergia tootmiseks

Päikeseenergia toodetud aastane elektrienergia arvutatakse valemiga 2 [25]:

$$E_{pan} = \frac{Q_{päike} \cdot P_{max} \cdot k_{kas}}{I_{ref}}, \quad (2)$$

kus  $E_{pan}$  - päikesepaneeliga toodetud aastane elektrienergia kWh/a;  
 $Q_{päike}$  - päikesepaneeli pinnale, millele ei teki varje, tulev aastane päikeseenergia [kWh/a];  
 $P_{max}$  - päikesepaneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel;  
 $K_{kas}$  - tegur, mis arvestab päikesepaneeli kasutustingimusi;  
 $I_{ref}$  - standardkiirgus 1 kW/m<sup>2</sup>.

Päikesepaneeli pinnale tulev aastane päikeseenergia arvutatakse valemiga 3:

$$Q_{päike} = 945 \cdot k_{suund}, \quad (3)$$

kus 945 - horisontaalpinnale tulev aastane päikese kiirgus Eestis [kWh/(m<sup>2</sup>·a)];  
 $k_{suund}$  - suunategur, mis arvestab päikese paneeli suunatust ilmakaare ja horisondi suhtes ( $k_{suund}$  väärtused on toodud Tabel 5).

Päikese paneeli maksimaalne võimsus standardtingimustel  $P_{max}$  sõltub paneeli tüübist ja saadakse lähtudes tootja andmetest. Kasutustingimuste tegur  $k_{kas}$  võtab arvesse päikese paneeli ümbritseva keskkonna iseärasusi (temperatuur, paneeli paigaldus) ja kadusid vahelduvvooluks muundamisel. Täpsemate andmete puudumisel võib kasutada tabelis (Tabel 5) toodud väärtusi.

**Tabel 5 Päikese paneeli kasutustegur,  $k_{kas}$**

<b>Paneeli paigaldusviis</b>	<b><math>k_{kas}</math></b>
Tuulutuseta	0,7
Mööduka tuulutusega	0,75
Intensiivse tuulutusega	0,8

Aleksandri 12 hoone viilkatuse kalded on edela ja kirde suunalised ning katusekalde nurk on 20° millele vastav suunategur  $k_{suund}$  on 1,10 edela suunal ning 0,84 kirde suunal.

Vastav  $Q_{päike}$  on arvutades 1038,5 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Valitud paneeli maksimaalne võimsus  $P_{max}$  on 256 W.

Ühe paneeli tootlikkus  $E_{pan}$  on tuulutuseta paneelil 186,3 kWh/a, mööduka tuulutusega paneelil 199,58 kWh/a ja intensiivse tuulutusega paneelil 212,89 kWh/a. Paneeli ja katuse vahele jääva õhuvahe võiks hinnata mööduka tuulutuse kategooriasse. Kirde suunal on vastav  $E_{pan}$  152 kWh/a.

Päikese paneele mahub katusele maksimaalselt 200 tükki edela suunal, kui ventilatsiooni läbiviigud viia teisele katusepoolele. Kirdesuunale mahub hinnanguliselt 150 paneeli, kui need paigutada nii, et need katuse inventari (korstnad ja läbiviigud) varju ei jääks.

Kokku on võimalik uuritava hoone katusele paigaldada 350 etaloniks toodud päikese paneeli. Sellise päikese elektri jaama hinnanguline aastane tootlikkus on kuni 65400 kWh/a. Päikese elektri jaama võimus 256 W paneelidega on 89,6 kW. Päikese elektri jaama „võtmed

kätte“ paigaldamise maksumus on vahemikus 1,1 ~ 1,6 €/W [28]. Päikeseelektrijaama kogumaksumus võib olla kuni 143360 €.

Päikesepaneeliga toodetud elektrienergia see osa, mis on ette nähtud hoone toimimiseks, arvutatakse tunnipõhise energiatoodangu ja energiakasutuse simulatsioonarvutusega või selle arvutamisel kasutatakse korterelamu puhul omatarbe osakaalu väärtust 55%.

Kui kasutada määruses toodud omatarbe osakaalu väärtust, siis maksimaalselt on võimalik energiatõhususe arvutamisel vähendada Aleksandri 12 ETA arvu päikesepaneelidega 26 ühiku võrra. Eelmise määruse redaktsiooniga oleks olnud võimalus vähendada isegi kuni 48 ühikut.

Magistritöö esitamisel kehtival aastal on seadusandluses tingimus, et liginullenergia hoone peab ilma päikesepaneelidega vastama madala energiakasutusega klassi „B“ 106 - 125 kWh/(m<sup>2</sup>·a) energiatõhususe arvule. See tähendab, et päikesepaneelidega energiakasutusklassi tohib parandada Aleksandri 12 hoones kuni 20 ETA ühikut. Liginullenergia märgise saavutamiseks maksimaalne päikeseelektrijaam saab olla aastase tootlikkusega kuni 50300 kWh/a.

Arvutus eeldab, et korteriühistu suudab oma elamus 55% sellest omatarbeks ära kasutada. (ventilaatorid, pumbad, automaatika jm. korteriühistute elektritarbijad).

Tegelikult oleks parem teha omatarbe määramiseks simulatsiooni arvutus, aga autori arvates hakatakse seda just vältima, kuna korteriühistul ei ole nii suuri elektrienergia kulutusi.

## **2.11 Simulatsioonid**

### **2.11.1 Simulatsioon vastavalt energiaauditi soovitudele**

Uuritava hoone kohta esitatud energიაaudit koostati 2007. aastal ning auditis esitatud soovitude järgi koostatud arvutusmodel on esimeseks simuleerimiseks väga hea lähtekoht. Energiasimulatsiooni sisestati välispiirete U-arvu soovitud vastavalt punktile 1.4.2.

Ventilatsiooni osas jäetakse arvutusmodelis sama olukord nagu baasmodelis, kuna värskeõhuavade puurimine kompenseerib infiltratsiooni teel toimuva õhuvahetuse muutumist. Võimalik, et ventilatsioon hakkab peale soojustamist paremini toimima, kuid



loomuliku ventilatsiooni suurimaks puuduseks on selle halb toimimine suveperioodil. Auditis on soovitatud puhastada ka olemasolevad ventilatsioonikorstnad.

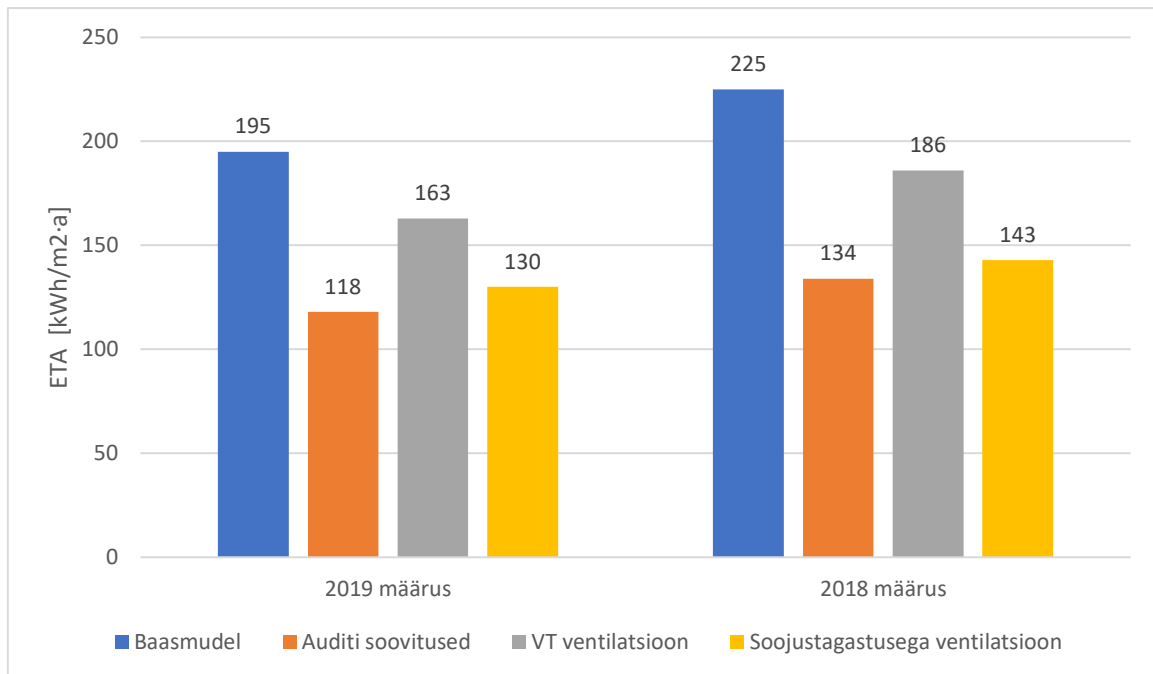
Auditi soovitude rakendamisel väheneb ruumide kütteks kulunud energia märgatavalt. Baasmudelil on ruumide ja värske õhu kütmiseks kuluv energia 415 MWh aastas ning peale soojustamist 132 MWh aastas. Seoses alaventileeritud olukorraga võib juhtuda olukord, kus peale meetmete rakendamist saab korterelamu tarbimisandmete järgi arvutatud kaalutud energia erikasutuse (KEK) määrgise „B“, sest uute 2019. aastal kehtima hakanud määruse redaktsioonide järgi sai autor ETA arvuks 117 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Kui korteriühistul tekib plaan, peale energiaauditi soovitude järgi soojustamist, sisekliimat parandada ventilatsiooni osas, on mõningased käesoleval ajal levinud ventilatsiooni lahendused kaalumiseks väljas. Näiteks soojustagastusega tsentraalne ventilatsioon, mida praegu 2019. aastal kortermajade juures kasutatakse, kus plastist ventilatsioonitorud paigaldatakse soojustuskihi sisse. Sellist torustikku ei saa kasutada juba paigaldatud soojustuskihi alla. Soojustagastusega ventilatsiooni saab paigaldada korteripõhiste seadmetega, kus sissepuhe ja väljatõmme lahendatakse läbi korteri välisseina ning torustik paigaldatakse korterisse lae alla ning seade samuti korterisse. Piisava normikohase ventilatsiooni võib tagada ka olemasolevaid ventilatsiooni kanaleid kasutades väljatõmbeventilatsiooni ehitamiseks.

Ventilatsiooni normikohase välisõhu soojendamiseks tõuseb soojustagastusega ventilatsiooni puhul küttekulu 268 MWh aastas. Vastav energiamäärgis on 2019 a. kehtiva määruse järgi 163 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ja vastab klassile „D“.

2018. aastal kehtiva energiatõhususe arvutamise metoodika järgi on ETA määrgis 186 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ning see vastab juba klassile „E“. Soojustagastusega nõuetekohase ventilatsiooni paigaldamine aitab küll parandada sisekliimat, kuid kogu ehitamise investeeringu tasuvus võib osutuda kahjumlikuks.

Kui välja ehitada soojustagastusega süsteem, mille SFP on võrdne 2,0 kW/(m<sup>3</sup>/s), saab ETA arvuks 130 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Klass „C“ 2019 a.) ja 143 kWh/(m<sup>2</sup>·a) (Klass „C“ 2018 a.).

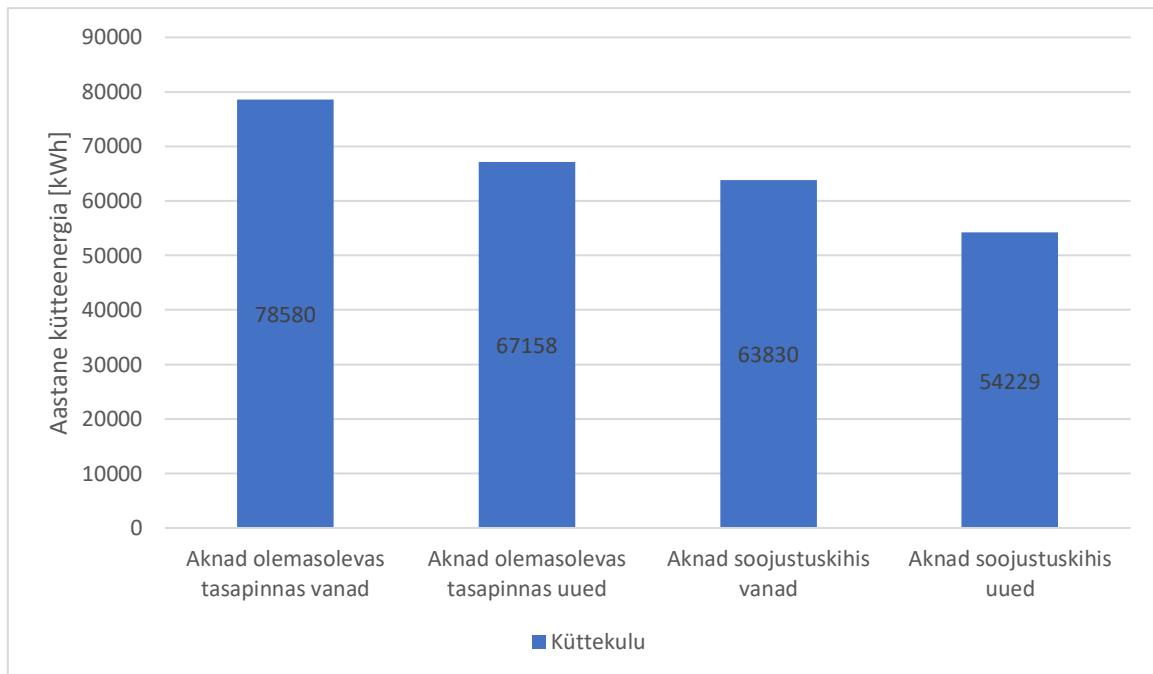


**Joonis 11.** Energiaauditi soovitused ning sisekliima tagamine

Siinkohal tuleb ära märkida, et ETA olulisel rekonstrueerimisel on kohustus saavutada vähemalt energiatõhususe klass „C“, kus ETA on väiksem, kui  $150 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  [17]. Soojustagastusega ventilatsiooniga rekonstrueerimisel on see nõue tagatud, kuid väljatõmbe ventilatsiooniga peab lisama lokaalse taastuenergia süsteemi. Lihtsam viis oleks paigaldada päikeseelektrijaam, mille arvatud aastane tootlikus on vähemalt 32000 kWh. Sellise võimusega süsteem peaks uuritava hoone läänepoolsele viilkatuse osale ära mahtuma, aga päikeseelektrijaama rajamine on ilmselt kallim, kui ehitada kohe välja soojustagastusega ventilatsioon.

### 2.11.2 Simulatsioon vastavalt KredEx minimaalsetele tingimustele

Energiaauditi soovitude järgi koostatud ning soojustagastusega ventilatsiooni tagamise mudel vastab juba suures osas KredEx toetuse tingimustele. Puudu on veel akende lahendus, kus akende seinakinnituse joonkülmasild peab olema  $0,05 \text{ W}/\text{m} \cdot \text{K}$  ning akna ja raami komplekti U-arv väiksem kui  $1,1 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ . Vastavalt määrusele [24] juba vahetatud aknaid ei pea uute vastu vahetama, kuid olemasolevad pakettaknad on vaja joonkülmasilla nõude täitmiseks kas tervelt kätte saada ja paigaldada soojustuskihti või on vaja soojustada aknapõsed nii, et nõutud joonkülmasild oleks tagatud. Kui aknad jäävad olemasolevasse tasapinda, siis paistab korterisse vähem päikest sisse ning vabasoojus päikesest väheneb. Samas aitab vähesem päikesevalgus suvise ülekuumenemise vastu. Simulatsioonimudel on võimalik akna sügavust muuta ning tulemusi omavahel võrrelda.



**Joonis 12.** Küttekulu sõltuvus akende asukohast

Ka KredEx toetuste andmise määrus muutus lõputöö kirjutamise ajal. Sisulist muudatust see Aleksandri 12 hoonele kaasa ei toonud, sest Tallinna ja Tartu linna käsitletakse uue määrusega nii, et toetuste taotluse rahuldamiseks peavad kõik maksimaalsed nõuded olema tagatud. Ainuke muutus oli välisseina soojuslähivuse U-arvu nõude kohta, mis muudeti 0,02 ühiku võrra soojapidavamaks.

Käesolevas töös simuleeriti uuritava hoone minimaalsete KredEx nõuetele vastav olukord. Mudelisse sisestati korterelamute toetuse tingimuste järgi andmed. Miinimumnõuete järgi rekonstrueeritav hoone vastab energiatõhususe klassile „B“ kWh/(m<sup>2</sup>·a).

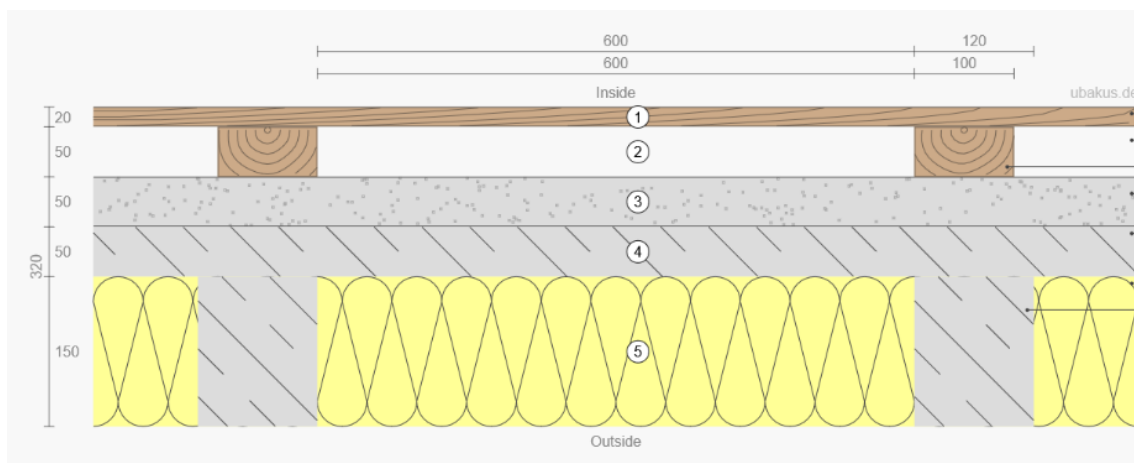
Väljastpoolt Tartu ja Tallinna linna on võimalik KredEx maksimaalse toetuse tingimuste täitmist osaliselt eirata. Sel juhul saab toetust taotleda 10% vähem maksimaalsest võimalikkust. Toetuse maksimaalne osakaal on piirkonniti erinev. Sisekliima tagamise osas toetuse saamiseks järeleandmisi ei tehta. Eluruumide määrusejärgsed õhuvooluhulgad peavad olema tagatud.

### 2.11.3 Keldrilae soojustamise simulatsioon

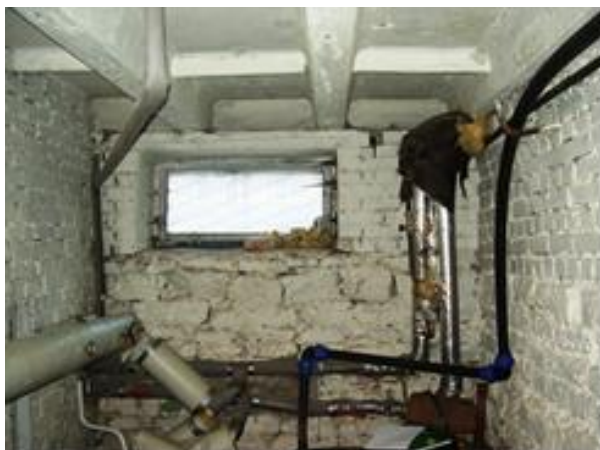
Energiasimulatsioonil baasmudelil on keldri minimaalne temperatuur 7,8 kraadi ning programm annab hoiatuse kondensaadi tekkimise kohta selles ruumis. Keldri ja esimese korruse vahelaeks on ribipaneel, kus õhemas kohas on betoon 40-50 mm paks. Selle peale

on ehitusaegselt ehitatud puitlaagidel laudpõrand. See konstruktsioon on autori visuaalsel vaatlusel välja pakutud, sest konstruktsioone ei avatud.

Kui keldriruum on jahe, siis esimese korruse elanikel on põrand ebamugavalt külm. Energiaauditis oli soovitatud keldrilae soojustamine 150 mm ning punktis 2.11.1 toodud simulatsiooni arvutustes on keldrilagi soojustatud. Keldrilagi on ribipaneelidest (Joonis 14) ning ribad ja vaheseinad jäävad külmasildadeks (Joonis 13). Keldrilae ribidevaheline soojustamise U-arvuks on täpsustatud Ubakus tööriistaga ning vastav tulemus on  $0,585 \text{ W/m}^2\text{K}$ .



**Joonis 13.** Esimese korruse arvutatud konstruktsioon, kus 1) puitlaudis 2) õhkvahe 3) liiv 4) ribipaneel 5) mineraalvill [26]



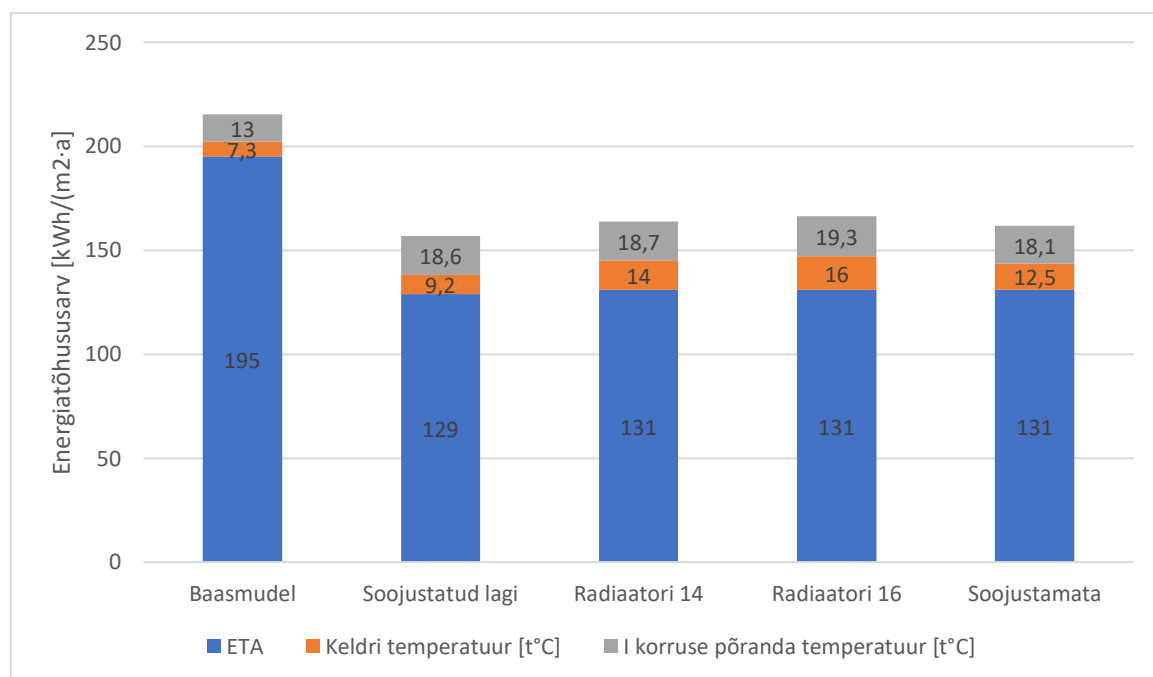
**Joonis 14.** Foto keldri vahelae ribipaneel [10]

Kui keldrilage ei soojusta, siis läbi keldripõranda kaudu esimeselt korruselt tulev soojus tõstab simulatsioonimudelil keldri minimaalse temperatuuri 12,5 kraadini. Põranda sisepinna keskmine temperatuur on soojusülekanne tõttu arvutuslikult  $18,1^\circ\text{C}$ .

Soojustatud keldrilae simulatsiooni tulemus näitas keldriruumi madalaimaks temperatuuriks 9,2 kraadi. Keldrilae soojustuse tõttu on sellise konstruktsiooni puhul esimese korruse põrandapinna temperatuur 18,6 °C.

Keldrilae soojustamine mudeli järgi tõstab esimese korruse põranda temperatuuri ainult 0,5 kraadi, mis mitte kuidagi ei õigusta sellist investeeringut. Keldrilae soojustamine on päris kallid ettevõtmine. Kõigepealt on vaja terve kelder puhtaks teha. Puidust keldriboksid on vaja välja lõhkuda ja peale soojustamist uued rajada. Kui kortermaja elanikud selliseks investeeringuks valmis ei ole, siis alternatiiv oleks keldri temperatuuri kontrollida radiaatoritega, et tõsta esimese korruse põranda minimaalset pinnatemperatuuri. Keldris välispiirete läheduses on küttesüsteemi magistraalid, ning küttepüstikute juurde saab väikese ümberehitusega rajada plekkradiaatorid.

Käesolevas töös simuleeriti köetud keldrit temperatuuriseadega 14°C (vastav esimese korruse põranda pind 18,7°C) ning peale seda 16°C (vastav esimese korruse põrandapind 19,3°C). Küttekehadega 14°C temperatuuri hoidmine keldris tõstab ruumide ja ventilatsiooniõhu küttekulu 5740 kWh aastas ligi ~5,1% võrreldes soojustatud keldrilaega. ETA märgis muutus 129 kWh/(m<sup>2</sup>·a) kahe ühiku võrra suuremaks 131 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Keldri temperatuuri hoidmise puhul 16°C, tõusis küttekulu soojustatud laega mudeliga võrreldes 8041 kWh ehk ~7,2%. Keldri temperatuuri seadmisel 14°C ja 16°C kraadi vahel ETA märgis (131 kWh/(m<sup>2</sup>·a) jäi muutumatuks.



**Joonis 15.** Esimese korruse põranda soojustamise mõju võrdlus

Keldris võiks hoida ka  $21^{\circ}\text{C}$  kraadist temperatuuri, aga autori arvates soovivad inimesed hoida keldris hoidiseid ning esimese korruse põranda temperatuuri tõstmine ei ole seda väärt. Keldrilae soojustamise kasuks ei leidnud autor head argumenti. Talvel langeb temperatuur keldris juba alla  $10^{\circ}\text{C}$ , mis võib jahedamates kohtades põhjustada ka kondenseerumist ning minimaalse temperatuuri korral on esimese korruse põrand ikka suhteliselt külm. Temperatuuri hoidmisel  $14^{\circ}\text{C}$  või  $16^{\circ}\text{C}$  juures on põranda temperatuur ühtlane ning ei lange alla diagrammis näidatud väärtuse. Soojustamata keldrilae ja kütteseadmeteta keldri puhul kulub kütteks sama palju energiat, kui  $16^{\circ}\text{C}$  seadearvuga keldri puhul. Ainukese erinevusega, et lisaradiaatoritesse investeeritud raha tõstab esimese korruse minimaalset põranda temperatuuri  $1,2^{\circ}\text{C}$  võrra. Tegelik olukord on ilmselt natuke parem, sest keldris üleval pool lae all on temperatuur kõrgem, kui radiaatori termostaadi kõrgusel.

#### **2.11.4 Liginullenergia simulatsioon**

Liginullenergia hooneks renoveerimine peab olema majanduslikult mõistlik. Esimeseks lähenemiseks valisin välisseina konstruktsiooni 200 mm soojustusmaterjali, millega U-arv on võimalik saavutada  $0,14 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Soojustuse paksusega 250 mm on võimalik saavutada  $U=0,12 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Akende pind on hoones kokku  $538 \text{ m}^2$  ning kõikide akende vahetamine mõjutab hoone energiakasutust päris palju. Näiteks peatükis 2.11.1 uuritud energiakasutuse korral akende vahetamisel U-arvuga 1,1 ja jättes alles juba vahetatud aknad on kütte energiakulu vahe 22,6%. Kui investeerida viiendiku võrra veel rohkem, saab hoonele paigaldada aknad, mille klaasi ja raami keskmine U-arv on  $0,7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ . Kuna aknad vahetatakse ja paigaldatakse soojustuskihi sisse, siis joonkülmasillaks võetakse arvutustes  $0,05 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ .

Keldriruume on autori arvates mõistlik kütta (2.11.3). Vundamendi ja keldri välisseina soojustuse paksuse valiti energiasaude soovituse järgi 150 mm paksune ning vastav U-arv on  $0,16 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ .

Ventilatsiooni juures on soovitatud projekteerida ventilatsioonisüsteem, mille SFP  $<1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$  [18]. Energiatõhususe simulatsioonis võiks jätta esialgu väikese varu, sest SFP  $1,5 \text{ kW/m}^3/\text{s}$  saavutamine võib osutuda fassaadialuse torustikuga pisut keeruliseks. Arvutuses kasutan kogu hoone ventilatsioonisüsteemi SFP  $1,7 \text{ kW/m}^3/\text{s}$ . Soojustagasti kasuteguriks on esialgu 0,8.

Ülaltoodud andmetega simulatsioonis on arvutuslik ETA 116 kWh/(m<sup>2</sup>·a) ning vastab Klassile „B“. Liginullenergia märgise klass „A“ saab siis, kui katusele lisatakse päikeseelektrijaam, mille aastane tootlikkus oleks vähemalt 28000 kWh.

#### **2.11.5 Simulatsioon vastavalt SmartEnCity nõuetele**

Eelmises peatükis jõudsimme mõistliku soojustamise, soojustagastusega ventilatsiooni ja akende vahetamisega liginullenergiahoone klassile päris lähedale.

SmartEnCity programmi toetuse üks tingimusi oli ETA märgise 90 kWh/(m<sup>2</sup>·a) saavutamine. Selleks, et eelmises peatüki tulemustega saavutada ETA 90 kWh/(m<sup>2</sup>·a), on vaja lisada päikeseelektrijaam, mis toodaks aastas 66000 kWh. Peatükis 2.9.2 leitud suurim võimalik elektrijaam on 64500 kWh.

Silikaattellistest müüritisele on võimalik paigaldada krohvitav PIR soojustusmaterjal, mille  $\lambda=0,021$  W/m·K saavutab 200 mm soojuspaksuse korral seinu U-arvu 0,096 W/m<sup>2</sup>·K. Materjal on tavapärastest soojustusmaterjalidest (mineraalvill ja vahtpolüstüreen) sedavõrd kallim, et võib mõjutada terve hoone ehitusmaksumust suurusjärgus kuni 10%.

Simulatsioonimudelil kasutati välisseina U väärtust 0,1 W/m<sup>2</sup>·K. Pööningu vahelae soojustamine 500 mm puistevillaga annab U-arvuks 0,08 W/m<sup>2</sup>·K. Aknad jäävad samaks, nagu on eelmises peatükis kirjeldatud.

SmartEnCity üheks tingimuseks oli korteripõhine ventilatsiooni nõudluspõhine juhtimine automaatika süsteemi kaudu. Määrus [25] lubab simulatsioonimudelil vähendada ventilatsiooni arvutuse õhuvooluhulka 0,42 l/s·m<sup>2</sup>. Ventilatsiooni soojustagasti kasuteguri valime 0,85. Süsteemi SFP valime  $SFP = 1,5$  kW/(m<sup>3</sup>/s) [18]. Ventilatsiooni seadme väljaviske temperatuuri soovib liginullenergiahoonete juhendmaterjalil valida 0°C [18]. Paremaid ventilatsiooni näitajaid saab kasutada siis, kui on koostatud pädeva isiku poolt detailne ehitusprojekt koos seadmete valikuga. Võrdluseks peatükis 1.6 toodud kortermajade arvutustes on kasutatud SFP väärtusi vahemikus 1,0 -1,6.

Energiasimulatsiooni tulemusel on ruumide kütteks kulunud kütteenergia 1/10 baasmodeliga võrreldes. Ühe ruutmeetri köetava pinna kohta on ruumide kütteks kuluv ETA komponent 9,82 kWh/(m<sup>2</sup>·a). Ventilatsiooniõhu soojendamise ETA komponent on 2,58 kWh/(m<sup>2</sup>·a).

Simulatsioonile vastav ETA märgis on  $105 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  (2019. aasta metoodika.) ja  $114 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  (2018. aasta metoodika).

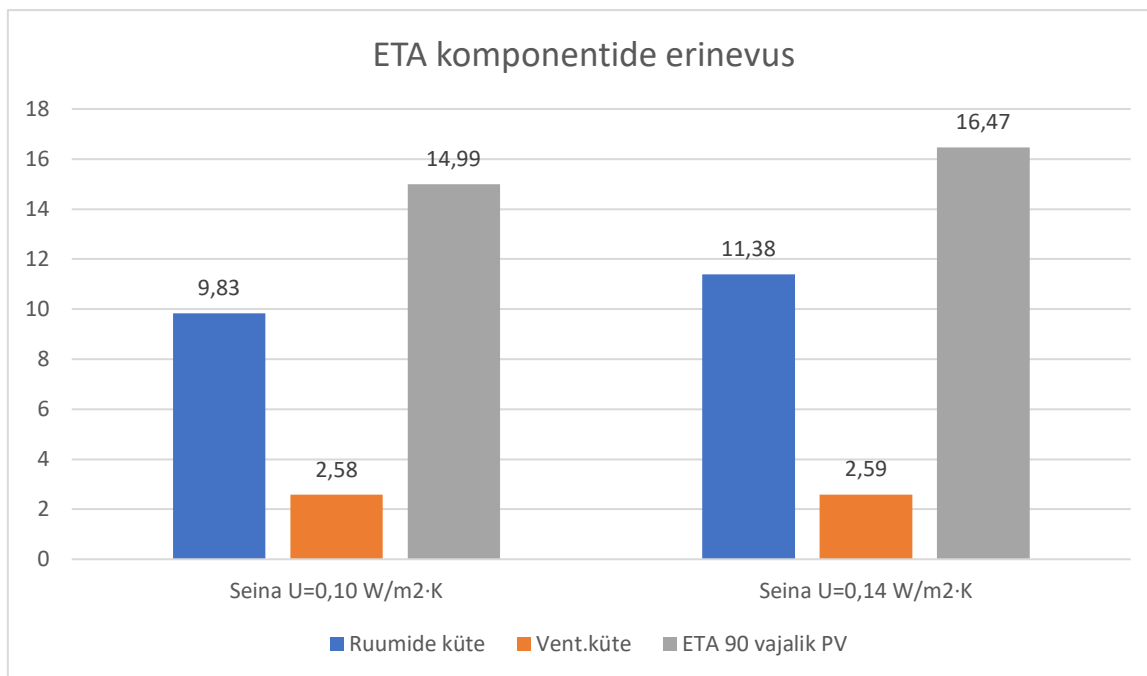
2018. aastal projekteeritud ehitistel oli võimalik päikeseelektrijaama elektritootmine otse hoone elektritarbimisest maha lahutada. See tähendas, et kui ETA märgise  $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$  saavutamisest on puudu  $24 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , siis päikeseelektrijaama aastase kogutoodangu arvutamiseks tuleb see arv jagada 2-ga (elektrienergia kaalumistegur) ning korrutada köetava pinnaga. Saadud tulemus  $32856 \text{ kWh}$ , on päikeseelektrijaama projekteerimiseks minimaalse tootlikkuse lähteülesanne.

Vastavalt 2019. aastal kehtima hakanud määrusele on päikeseelektrijaama omatarbe osakaal 55%. Määrus lubab ka energiakasutust simuleerida, kuid käesoleva magistritöö raames seda ei tehtud. SmartEnCity nõuete täitmisest on puudu 15 ETA ühikut. Elektrienergia kaalumisteguriga läbi jagades saame energia, mida hoone peaks omatarbeks kulutama. Selle jagame omatarbe osakaaluga läbi, saame päikesepaneelide netoenergia vajaliku toodangu  $13,63 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ . Saadud tulemuse korrutame läbi hoone köetava pinnaga ( $2738 \text{ m}^2$ ) ja saame päikeseelektrijaama aastase tootlikkuse  $37300 \text{ kWh} \cdot \text{a}$ .

Kui kasutada maksimaalselt ära viilkatuse päikesepoolne osa ning kujundada hoone ventilatsioon nii, et ventilatsioonikorstnad asuksid teisel viilul, saab katusele paigaldada kuni 200 päikesepaneeli mõõtudega  $1318 \text{ mm} \times 980 \text{ mm}$ , mille võimus  $256 \text{ W/tk}$ . Koguvõimuses  $51,2 \text{ kW}$ . Aastane tootlikkus sellisel süsteemil on  $43376 \text{ kWh}$  esimesel aastal. Saavutatav ETA märgis oleks sel juhul  $88 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ .

Ehitushinna kohalt võib olla parem lahendus välisseinades kasutada odavamat materjali ning investeerida rohkem päikeseelektrijaama. Selle kohta koostati viimase mudel variatsioon, kus määrati välisseina soojustuse  $U$ -arvuks  $0,14 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$  ning ülejäänud mudeli andmed jäid samaks.

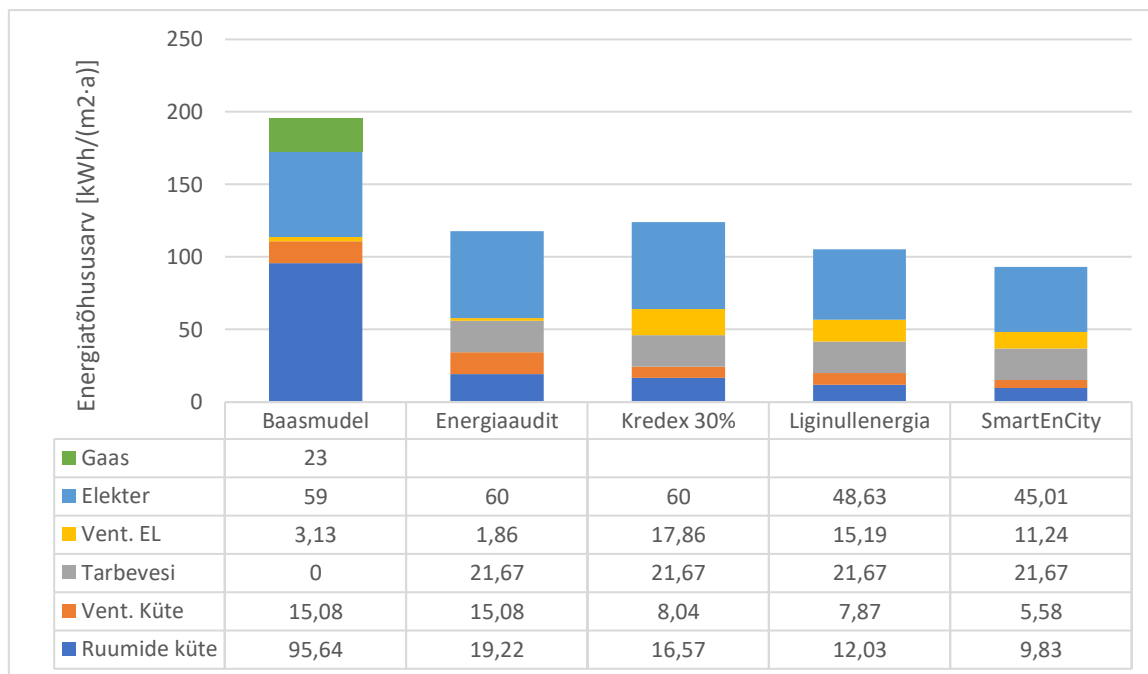




Saadud tulemus tõstis ruumide kütte ja ventilatsiooniõhu kütte ETA komponenti 1,56 ühiku võrra. Vastav päikeseelektrijaama aastane tootlikkus peab olema 37300 kWh asemel 41000kWh.

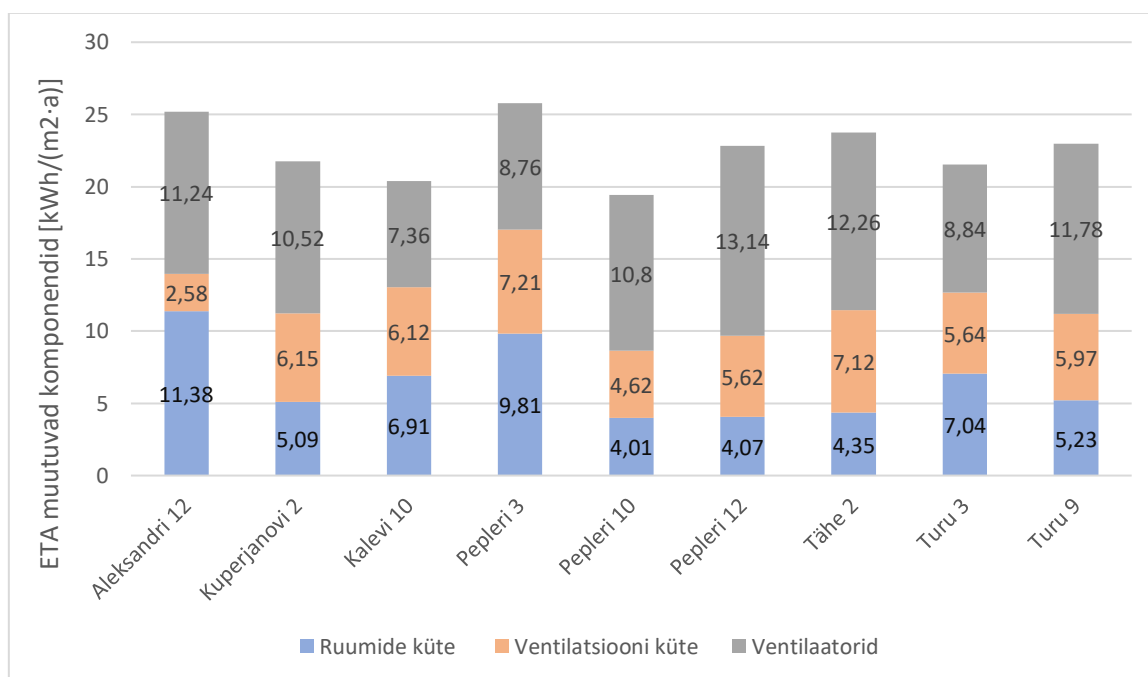
#### **2.11.6 Energiatõhususe arvutamise tulemused**

Aleksandri 12 kohta koostati 5 põhilist simulatsiooni mudelit. Mudelist saadud andmed (Lisa 1) kanti programmi MS Excel ja arvutati iga simulatsiooni kohta energiatõhususarv vastavalt 2019. aastal kehtima hakanud ja eelnevatel aastatel kehtinud metoodikale.



**Joonis 16.** Erinevate mudelite võrdlus 2019 aasta metoodika järgi

Selleks, et SmartEnCity programmis osalevate hoonete energiatõhususarvutuse lähteandmeid omavahel võrrelda, teisendasin teiste hoonete netoenergiavajaduse koos süsteemikadudega samadele alustele ehk 2019. aasta määruste järgi arvutatud ETA komponentideks. Kui arvestada, et välispiirete U-arvud, ventilatsioonisüsteemi SFP-d ja soojustagastuse suhtarvud on suhteliselt sarnased (Lisa 2), siis ei tohiks selliseid kõikumisi olla, nagu on toodud joonisel Joonis 17.



**Joonis 17.** Muutuvad ETA komponendid

Tulemuste võrdlemisel tuli välja, et mida suurem on köetav pind, seda suurema päikeseelektrijaama peab paigaldama selleks, et kompenseerida ETA märgist. Kahjuks ei ole saadaolev katuse pind lineaarselt sõltuv hoone mahuga. Näiteks 3-e trepikojaga 4- ja 5-korruselise köetava pinnaga hoonete vahe on 1/5 viiekorruselise hoone pinnast, aga saadaolevat katuse pindala on sama suur (näiteks Kuperjanov 2 ja Aleksandri 12).

Tingimusele 90 kWh/m<sup>2</sup>a vastamine on raskem suuremas majas. 5-korruseline ja 60 korteriga hruštšovka on käesoleva töö autorile teadolevalt kõige suurem seda tüüpi maja. Hüpotetiliselt, kui lisada sellisele majale samade ETA komponentidega ühe lisakorruse, siis on päikseelektrijaama aastane tootlikkus vaja saavutada 52000 kWh.

Köetava pinna mõistet on erinevate projekteerijate poolt tõlgendatud erinevalt. Lähtuti lihtsast põhimõttest, kui ruumis on radiaator, siis järelikult on tegemist sisekliima tagamisega ning köetava pinnaga. Ehitusjärgus olevate nn SmartEnCity majadest seitsmel juhul muudeti projekteerimise käigus kelder köetavaks pinnaks. Sisuliselt on ka käesoleva töö autori poolt tehtud kelder köetavaks pinnaks. Köetav ei saa olla kogu pind. Keldris asuvad soojussõlme ja kilbiruum arvestatakse tehnopindade hulka. Aleksandri 12 saaks köetavaks pinnaks märkida 3155 m<sup>2</sup>. Kasutades seda köetavat pinda energiatõhususarvutustes paraneb energiamärgis SmartEnCity mudeli näitel 3 ETA ühikut.

## KOKKUVÕTE

Eestis laialdaselt levinud valdavalt 60-ndatel aastatel püstitatud tüüpkorterelamud, mida rahvakeeli kutsutakse hruštšovkadeks, on püstitatud ajal, mil riigis oli suur eluasemepuudus. Hooneid oli vaja püstitada kiiresti ja odavalt, et need ruttu inimestele kasutamiseks anda.

Nõukogude Liidu juhtnööride alusel koostatud hruštšovkad ei vasta tänapäevastele tingimustele. Küttekulud on suured ning sisekliima ei vasta inimeste vajadustele. Korterites levib hallitus ja inimesed kurdavad tervise üle.

Korterelamu renoveerimine energiatõhusaks hooneks on 2019. aastal seadusandlusega üpriski põhjalikult reglementeeritud. Ehitusseadustiku järgi peavad kõik uued ja oluliselt rekonstrueeritavad hooned saavutama energiatõhususklassi „C“, mille energiatõhususarv on vähem, kui 150 kWh/m<sup>2</sup>a. Vajalik on kohe eelprojekti alustades selgeks saada, kas kavandatav hoone rekonstrueerimine on oluline või väheoluline. Olulise rekonstrueerimise puhul koostatakse energiatõhususe projekt ja väheolulise rekonstrueerimise puhul esitatakse ehitusprojekti planeeritav ehitismaksumus.

Energiatõhususe miinimumnõuete tõendamine toimub energiatõhususarvutuste kaudu, mille lõpptulemusel esitatakse kavandatavale ehitisele ETA (energiatõhususarv) märgis. Olemasolevatele hoonetele arvutatakse energiamärgis tarbimisandmete järgi KEK (kaalutud energia erikasutus). Energiamärgis näitab primaarenergia kasutamist hoones kilovatt tundides ühe köetava sisekliima tagamisega ruutmeetri kohta aastas.

Hruštšovka tüüpi korterelamutes on võimalik välispiirete lisasoojustamisega viia hoone tänapäevastele nõuetele vastavaks. Selline tegevus on ka riigi poolt toetatud, kuid tingimusel, et rekonstrueerimisega täidetakse sisekliima nõuded.

Käesolevas lõputöös on uuritud ühe silikaattellistest põhikonstruktsiooniga 60-e korteriga „hruštšovka“ tüüpi korterelamu energiakasutust ning spetsiaalset tarkvara IDA-ICE 4.8 kasutades simuleeriti hoone energiakasutust erinevate renoveerimisvõimaluste korral.

Selleks, et koostada renoveerimise kava, on vaja võimalikult täpseid lähteandmeid. Uuritava hoone kohta puudub ehitusaegne projektdokumentatsioon. Enne energiatõhususe projekti koostamist viidi läbi uuringud ja mõõdistused.

Mõõdistuste järgi koostati IDA-ICE programmis arvutusmodel. Arvutusmodel koostati ka olemasoleva olukorra kirjeldamiseks, et selle kaudu anda energiatõhususe hinnang renoveerimisjärgselt loomuliku ventilatsiooniga renoveeritud hoone energiakasutusele. Tulemus on mõnevõrra üllatav, et sisekliima arvelt võib juhtuda olukord, kus ETA märgise 2-aastase kehtivuse ajal reaalseste tarbimisandmete kaudu arvutatav energiamärgise (KEK) klass võib tulla „B“, mis on väga hea maja tunnus.

Simulatsiooniprogrammi kasutati ka püstitatud hüpoteesile vastuse saamiseks, et kas kütmata keldrilae soojustamine on jätkusuutlik investering. Uuring ei kinnita jätkusuutlikkust, sest keldrilae soojustamine tõstab küll esimese korruse põrandapinna minimaalset temperatuuri, aga seda vaid poole kraadi võrra. Odavam lahendus põranda pinna minimaalse temperatuuri tagamiseks oleks keldris hoida radiaatoritega madalat temperatuuri. KredEx nõuetele vastava, liginullenergia hoone nõuetele vastava ja SmartEnCity nõuetele vastava energiatõhususe arvutamisel lisati keldripinnale küttekehad, mis hoiavad ruumis temperatuuri 16 kraadi.

Korterelamut saab mõistlike kulutustega renoveerida liginullenergiahooneks. Soojustusmaterjalid tuleb valida tavapärasest soojapidavamad. Kõik aknad tuleks vahetada välja ning seejuures valida keskmisest soojapidavamad. ( $U\text{-arv} < 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ) Aleksandri 12 korterelamu puhul on vajalik paigaldada päikeseelektrijaam, mille aastane kogutoodang on vähemal 28000 kWh.

SmartEnCity toetusele saamiseks on vaja saavutada energiatõhususarv  $90 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ . Selleks tuleb ventilatsiooni soojustagastusega seadmed valida sellised, mille külmumiskaitse võimaldab alandada väljaviskeõhu temperatuuri 0-kraadini. Välispiirete soojusjuhtivus peab olema  $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , pööningu lae  $U=0,08 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ , vundament  $U=0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ . Akende keskmine  $U=0,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ning aknad paigaldatakse soojustuskihi tasapinda. Katusele on vajalik paigaldada päikeseelektrijaam prognoositava aastase tootlusega vähemalt 41000 kWh.

Korterelamutes on keldris ehitusaegselt projekteeritud kütmata pind. Rekonstrueerimise käigus isoleeritakse põhjalikult küttesüsteemi magistraalid ning keldris ei ole enam vabasoojust. Kui seal hoida radiaatoritega  $14\text{--}16 \text{ }^\circ\text{C}$  temperatuuril, siis eelmistel aastatel kehtiva seadusandluse kohalt peeti seda köetavaks pinnaks ning kasutati energiatõhususarvutustes kogu elamu köetava pinnana. Energiatõhususarv paranes köetava

pinna suurenemise tõttu 4 ühikut. Energiatõhususe miinimumnõuete määruse järgi 2019. aastal peab energiatõhususe arvutustes välja jätma madala temperatuuriseadega pinna. Määrusega on jäetud täpsustamata madala temperatuuriseadega ruumide piirväärtused.

Ehitusmaterjalide hind ja kättesaadavus on pidevas muutumises. Võimalik, et tulevikus on soojapidavamad materjalid nõudluse tõttu odavamaks läinud. Ehitusmaksumuse hinna analüüsi käesoleva lõputöö raames ei tehtud, kuid seda võiks teha järgneva aasta üliõpilane.

## KASUTATUD KIRJANDUS

- [1] H.Arman, U. Kammal, M. Port ja A. Saar, Eesti Arhitektuuri Ajalugu, Tallinn: Eesti Raamat, 1965.
- [2] M. Kalm, Eesti 20. sajandi arhitektuur, Tallinn: Sild, 2002.
- [3] Eesti Arhitektide Liit, „Lahkunud on arhitekt Maimu Palm,“ 25 11 2014. [Võrgumaterjal]. Available: <http://www.arhliit.ee/uudised/eal/lahkunud-on-arhitekt-maimu-palm/>.
- [4] H. Kaljulaid, „Johannes Hint: Ühe XX sajandi ausa mehe tragöödia,“ *Kultuur ja Elu*, 2006.
- [5] Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, „Energiasääst,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.mkm.ee/et/energiasaast>. [Kasutatud 01 aprill 2019].
- [6] Vabariigi Valitsus, „Energiamajanduse arengukava aastani 2030,“ 2017.
- [7] TTÜ, „Eesti eluasemefondi telliskorterelamute ehitustehniline sisukord ning prognoositav eluiga. Uuringu lõpraport,“ Tallinna Tehnikaülikool, Ehitusteaduskond, Tallinn, 2010.
- [8] Ü. Kaha, „Hruštšovka renoveerimise võimalused SmartEnCity projekti raames,“ Tallinna Tehnikakõrgkooli ehitusteaduskond, Tallinn, 2016.
- [9] M. Vitsut, „Tellis- ja suurplokk korterelamute ehitustehnilise seisukorra hindamine ja korterite sisekliima renoveerimiseelne mõõtmine,“ Eesti Maaülikool, Metsandus- ja maaehitusinstituut, Tartu, 2017.
- [10] V. Vaher, „Energiaaudit ja Termograafia, Aleksandri 12, Tartu,“ OÜ Energiasäästubüroo, Tartu, 2007.
- [11] T. Masso, „Ehitusfüüsika ABC,“ Autor ja EHITAME, 2012.
- [12] EHR, „Ehitusregister,“ Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium, 01 aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: [www.ehr.ee](http://www.ehr.ee). [Kasutatud 1 aprill 2019].
- [13] T. Jõesaar ja A. Hamburg, „Korterelamute energiaauditite koostamise juhend,“ EKVÜ, Tallinn, 2015.
- [14] Tartu Linnavolikogu, „SmartEnCity projekti abil luuakse Tartusse nutikas linnaosa,“ 15 September 2016. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.tartu.ee/et/uudised/smartencity-projekti-abil-luuakse-tartusse-nutikas-linnaosa>. [Kasutatud 4 aprill 2019].

- [15] „Pilootala - Tark Tartu,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <http://tarktartu.ee/avaleht/pilootala/>. [Kasutatud 8 mai 2019].
- [16] Tartu Linnavolikogu määrus, „Targa linna korterelamu rekonstrueerimise toetus,“ Tartu, 2016.
- [17] Riigikogu, „Ehitusseadustik,“ 1 juuli 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/119032019098>. [Kasutatud 1 aprill 2019].
- [18] Tallinna Tehnikaülikool, „Liginullenergia eluhooned. Rida- ja korterelamu juhend,“ november 2017. [Võrgumaterjal]. Available: [http://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia\\_eluhooned\\_Rida\\_ja\\_korterelamu\\_juhend.pdf](http://kredex.ee/sites/default/files/2019-03/Liginullenergia_eluhooned_Rida_ja_korterelamu_juhend.pdf). [Kasutatud mai 2019].
- [19] Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaminister, „Hoone energiatõhususe miinimumnõuded,“ 1 jaanuar 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019013>. [Kasutatud 1 aprill 2019].
- [20] Majandus- ja taristuminister, „Nõuded energiamärgise andmisele ja energiamärgisele,“ 1 juuli 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/106052015002>. [Kasutatud 1 aprill 2019].
- [21] Majandus- ja taristuminister, „Ehitiste tehniliste andmete loetelu ja arvestamise alused,“ 01 07 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/110062015008>. [Kasutatud aprill 2019].
- [22] Majandus- ja taristuminister, „Hoone keskmise ehitismaksumuse hindamise kord,“ 1 juuli 2015. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/116062015004>. [Kasutatud aprill 2019].
- [23] Statistikaamet, „Ehitushinnaindeksi muutus,“ 22 aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.stat.ee/stat-ehitushinnaindeksi-muutus>. [Kasutatud 24 aprill 2019].
- [24] Ettevõtlus- ja infotehnoloogiaminister, „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused ja kord,“ 12 aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/126042019007>. [Kasutatud 24 aprill 2019].
- [25] Majandus- ja taristuminister, „Hoone energiatõhususe arvutamise meetodika,“ 21 01 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/118012019012>. [Kasutatud aprill 2019].
- [26] Ubakus.de, „Der Abakus für den U-Wert,“ 2019. [Võrgumaterjal]. Available: [www.ubakus.de](http://www.ubakus.de). [Kasutatud 01 mai 2019].
- [27] EVIM29, „Korterelamute rekonstrueerimise toetuse andmise tingimused ja kord,“ 04 aprill 2019. [Võrgumaterjal]. Available: <https://www.riigiteataja.ee/akt/126042019007>.
- [28] A. Meesak, „Päikeseenergeetika koolitus,“ Tartu, 2018.



LISAD

## Lisa 1. Väljavõte simulatsiooni tulemustest

nr.	Mudeli nimetus / esimene muudatus	Eelne mudeli erisus	Märkused	Netoenergiavajadus (kWh)		
				Ruumide küte	Vent. küte	Ventilaatorid
0	Baasmudel			351684	63532	2541
1	Energiaaudit (ilma keldrilaeta)			75487	63531	2541
1.1	+keldrilaie soojustamine		keldri lagi $U=0,58 \text{ W/(m}^2\text{K)}$	70692	63530	2541
1.2	+sisekliima tagamine $0,5 \text{ l/sm}^2$		$0,5 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,0	84853	186780	12457
1.3	+soojustagastusega sisekliima tagamine		$0,5 \text{ l/sm}^2$ ; Soojustagastus 80%; SFP=2,0	81820	30209	24455
1.3.1		+ehitusaegsete akende vahetus olemasolevas asukohas	Akna U-arv 1,6; joonkülmasilid $\psi=0,05 \text{ W/(mK)}$	78580	30334	24455
1.3.2		+kõik aknad uued soojustuskihis	Akna U-arv 1,0; $\psi=0,05 \text{ W/(mK)}$	54229	30180	24455
1.3.3		+keldrilaie soojustamise asemel keldri kütmine	$t=14^\circ\text{C}$	87487	30282	24455
1.3.4		+keldrilaie soojustamise asemel keldri kütmine	$t=16^\circ\text{C}$	89800	30270	24455
1.4	+sisekliima tagamine $0,5 \text{ l/sm}^2$		$0,5 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,0	89673	186725	14941
1.5	+soojustagastusega sisekliima tagamine		$0,5 \text{ l/sm}^2$ ; Soojustagastus 80%; SFP=2,0	89636	30459	14682
1.5.1		+kõik aknad uued soojustuskihis	Akna U-arv 1,1; $\psi=0,05 \text{ W/(mK)}$	63830	29074	24331
1.5.1.1		+aknad vahetada aga ol.ol tasapinnas	Akna U-arv 1,1; $\psi=0,05 \text{ W/(mK)}$	67158	29267	24331
1.5.1.2		+keldri kütmine	$t=14^\circ\text{C}$	77474	28887	24331
1.5.1.3		+keldri kütmine	$t=16^\circ\text{C}$	67365	29072	24331
2	nZEB	(seal hulgas keldri küte 16)	$U^{\text{sein}}=0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,5 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,7	44244	29821	20791
3	SmartEnCity	esimene lähenemine	$U^{\text{sein}}=0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,5 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,7	46670	30044	20791
3.1	+nõudluspõhine ventilatsioon		$U^{\text{sein}}=0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,5 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,8	41225	24561	17464
3.1.1		+ keldri kütmine 14		41428	24559	17464
3.1.2		+ keldri kütmine 16		43593	24542	17464
3.1.3		+ keldri kütmine 16+Seinad $U=0,11$		40294	24451	17464
3.1.4		+ keldri kütmine 21		54839	24347	17464
3.2	Seinad soojapidavamad	(ilma keldri kütteta)	$U^{\text{sein}}=0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,9 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,42 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,4; 80%	34519	24687	14386
3.2.1	keldri küte 16	Ventilatsiooni heiteõhk $t=0^\circ\text{C}$	$U^{\text{sein}}=0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,42 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,5; 80%	36151	13201	15389
3.2.2	keldri küte 16	Ventilatsiooni heiteõhk $t=0^\circ\text{C}$	$U^{\text{sein}}=0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,42 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,5; 85%	36139	9772	15382
3.2.3	keldri küte 16	Ventilatsiooni heiteõhk $t=0^\circ\text{C}$	$U^{\text{sein}}=0,1 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,42 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,5; 90%	36160	8833	15380
3.2.4	LÕPLIK VALIK	Ventilatsiooni heiteõhk $t=0^\circ\text{C}$	$U^{\text{sein}}=0,14 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{pööning}}=0,08 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $U^{\text{aken}}=0,7 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ ; $0,42 \text{ l/sm}^2$ ; SFP=1,5; 85%	41858	9831	15382
4	Energiaatõhususe min. nõuded	Sisekliima tagamine, seinad vastavalt määrusele 58 (2018)		83597	186515	12446
5	Kredex min nõuded		$0,5 \text{ l/sm}^2$ ; Soojustagastus 80%; SFP=2,0	60932	30278	24455

**Lisa 2.** SmartEnCity ehitamisel olevate hoonete energiatõhususe näitajad

Aadress	Välissein [W/m <sup>2</sup> K]	Sokkel [W/m <sup>2</sup> K]	Põrand [W/m <sup>2</sup> K]	Katus [W/m <sup>2</sup> K]	Aken [W/m <sup>2</sup> K]	SFP [kW/m <sup>3</sup> /s]	Soojustagastus	esitatud
Kuperjanovi 2	0,16	0,21	0,35	0,09	0,9	1,2	0,85	23/12/2016
Kalevi 10	0,148	0,204	0,35	0,074	0,9	1	0,85	09/06/2017
Pepleri 3	0,18	0,29	0,35	0,07	0,9	1	0,85	22/03/2017
Pepleri 10	0,149	0,212	0,35	0,076	0,9	1,5	0,85	07/07/2017
Pepleri 12	0,149	0,212	0,35	0,076	0,9	1,5	0,85	14/06/2017
Tähe 2	0,09	0	0,16	0,09	0,8	1,4	0,79	19/02/2017
Turu 3	0,149	0,212	0,35	0,076	0,9	1,6	0,85	17/04/2017
Turu 9	0,149	0,212	0,35	0,077	0,9	1,6	0,85	04/07/2017

**Lisa 3.** Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks ning juhendaja kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Hardi Kaseleht,

(autori nimi)

sünniaeg 24.04.1986,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö

Hruštšovkade energiakulu ja renoveerimisvõimalused liginullenergiahooneteks,

(lõputöö pealkiri)

mille juhendaja on Martti-Jaan Miljan,

(juhendaja nimi)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,

1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja

1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor \_\_\_\_\_

(allkiri)

Tartu, \_\_\_\_\_

(kuupäev)

**Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta**

Luban lõputöö kaitsmisele.

\_\_\_\_\_  
(juhendaja nimi ja allkiri) (kuupäev)